



Pour une évaluation globale des OGM : Des perspectives épistémologiques renouvelées pour l'analyse des risques programme “ EvaGlo ” dans le cadre du programme “ RiskOgm ” (rapport complet)

Martin Rémondet, Frédéric Jacquemart, Véronique Thomas-Vaslin, Léo Coutellec, Jacques Blondel, Nicolas Bouleau, Patrick Gaudray, Catherine Larrère, Anne-Françoise Schmid

► To cite this version:

Martin Rémondet, Frédéric Jacquemart, Véronique Thomas-Vaslin, Léo Coutellec, Jacques Blondel, et al.. Pour une évaluation globale des OGM : Des perspectives épistémologiques renouvelées pour l'analyse des risques programme “ EvaGlo ” dans le cadre du programme “ RiskOgm ” (rapport complet) . [Rapport de recherche] Ministère de l'écologie et du développement durable. 2014. hal-01300736

HAL Id: hal-01300736

<https://hal.science/hal-01300736>

Submitted on 11 Apr 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Pour une évaluation globale des OGM

**Des perspectives épistémologiques renouvelées pour l'analyse des
risques**

programme « EvaGlo »

dans le cadre du programme « RiskOgm »

Frédéric Jacquemart – GIET - rue Josh Fox Bedousses 30450 Aujac

**Véronique Thomas-Vaslin – CNRS FRE3632 – UMRS959 CNRS-UPMC – CHU Pitié-
Salpêtrière 47-83 Bd de l'Hôpital 75013 Paris**

**Léo Coutellec Université Paris Sud EA1610 – Espace éthique Ile de France – CHU Saint Louis
1 av. Claude Vellefaux 75010 Paris**

Convention de subvention

11-MRES-RISKOgm-1-CVS-57

2011 - n° CHORUS

Exercice 2011

Programme 190 – 0190-THUR-BSAF

Action 13 sous action 08

Centre de coût : CGDMCGD092

Ministère de l'écologie,
du Développement durable et de l'énergie
Hôtel de Roquelaure
246 boulevard Saint-Germain
75007 Paris
Tél. 33 (0)1 40 81 21 22



Le programme « RiskOgm », piloté par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'énergie, lancé en 2010, fait suite aux engagements pris dans le cadre du « Grenelle de l'environnement ».

Son objectif est de produire des connaissances pour l'action publique.

Un des axes prioritaires de l'appel à propositions de recherche 2010 était :

« Développement d'une démarche globale d'analyse de la sécurité des aliments contenant des produits transgéniques »

C'est dans ce cadre que se situe le programme « *Pour une évaluation globale des OGM* » dit « *EvaGlo* » (voir annexe).

Pour produire ce travail, nous avons organisé et participé à différents colloques :

Table-ronde dédiée à ce programme, intitulée « Évaluations et critères de scientificité », le 30 novembre 2011 à l'INSA de Lyon avec Anne-Françoise Schmid, philosophe et épistémologue à l'INSA de Lyon, Elodie Giroux philosophe à l'Université Lyon 3, Nicolas Lechopier, philosophe des sciences à l'Université Lyon 1, Léo Coutellec, épistémologue à l'INSA de Lyon et faculté de philosophie Lyon 3 et Frédéric Jacquemart, pilote du programme « Évaluation globale ».

Débat « Plantes mutées, une innovation pour qui ? Pour quoi ? » (organisé par la Région Rhône-Alpes) le 21 septembre 2012, avec communication de Léo Coutellec.

Participation de Léo Coutellec au colloque « Recherche et Innovation : vers une éthique de la responsabilité », co-organisé par le groupe ETHOS (Lausanne) et le LARSIM (CEA) des 4 et 5 octobre 2012.

Participation et interventions au colloque du 6e MEACB (Meeting of European Advisory Committees on Biosafety in the field of the deliberate release of GMOs) des 13 et 14 décembre 2012 avec interventions de Catherine Larrère, Anne-Françoise Schmid, Léo Coutellec, Patrick Gaudray et Frédéric Jacquemart sous le titre « Refonder l'éthique, repenser l'évaluation »

Organisation d'une journée d'études « De quoi le risque est-il le nom ? - le cas des OGM végétaux », le 25 janvier 2013, faculté de philosophie de Lyon 3 avec Alain Kaufmann, sociologue, Université de Lausanne, Nicolas Bouleau, philosophe des sciences et mathématicien, CIRED et ENPC, Frédéric Jacquemart, Peter Rogowsky, biologiste, ENS de Lyon, Léo Coutellec.

Communication de Frédéric Jacquemart lors du colloque de ImmunocomplexiT network des 8 et 9 avril : « Un enjeu capital pour le monde moderne : l'évaluation globale ».

Un colloque de restitution et de complément se tiendra à L'institut des Systèmes Complexes Paris-Ile de France le 14 octobre 2014 (annexe)

Un groupe de travail a été constitué, comprenant Nicolas Bouleau, Léo Coutellec, Frédéric Jacquemart, Giuseppe Longo, Maël Montevil et Véronique Thomas-Vaslin et d'autres réunions ont eu lieu ponctuellement avec des spécialistes de la résilience et des systèmes complexes.

Les différents textes regroupés dans ce rapport n'engagent que leurs auteurs respectifs

EvaGlo

*À peine éveillé, le primate nu
se prend pour la mesure des choses*

Hugo CLAUS

Communication de Frédéric Jacquemart :

Introduction

« Je peux dire néanmoins qu'une des questions que j'avais imaginées a été utile: Une mère récompense son fils d'une glace à chaque fois qu'il mange les épinards. Question: quelle information supplémentaire nous est nécessaire pour que nous soyons en mesure de prévoir si l'enfant est amené: a) à aimer ou à détester les épinards; b) à aimer ou à détester la glace; c) à aimer ou à détester sa mère? Nous avons consacré deux ou trois séances à explorer les ramifications multiples de cette question; au bout d'un moment, il m'est apparu évident que ce dont on avait besoin pour décider devait porter sur le contexte du comportement de la mère et du fils. Pour moi, il était devenu clair que c'était ce phénomène du contexte, ainsi que celui, étroitement lié, de la signification, qui définissaient la ligne de séparation entre la science dans l'acception «classique» du terme et le type de science que j'essayais de bâtir ».

Cette citation de Bateson¹ met le doigt sur ce qui, pour nous, est le plus important, mais le plus négligé : le contexte. Dans l'immense majorité des cas, les études, théories, réflexions, bref, les productions intellectuelles, supposent implicitement la validation du contexte culturel (et donc, historique) dans lequel est née et prend sens cette production.

Une autre histoire, elle aussi inspirée par Bateson, a été à l'origine d'un petit film du GIET: « 2 + 2 = bleu »². L'explication de ce titre, donné par l'association qui, rappelons-le, est porteuse du présent programme sur l'évaluation globale, donne le ton général de la démarche :

« Un instituteur pose la question : « combien font 2+2 ? ». Un enfant répond « neuf ». Le maître fronce les sourcils et réprimande l'élève. Le voisin de l'enfant se lève et dit « non, ça fait bleu ». Là, rien ne va plus, c'est au moins la camisole...

En fait, en posant une question, on délimite les possibilités des réponses, même des erreurs acceptables. Neuf est une bêtise, bleu est une folie. Il en est de même pour le couple problème(s) / solution(s).

Nous disons, au GIET, que réponses et solutions doivent être « dans les termes » des questions et des problèmes posés. Tant qu'on est dans un paradigme global stable, cela fonctionne. Les « termes » sont issus du paradigme global, les réponses et solutions « pertinentes » aussi.

Cette pertinence se trouve confortée par l'enseignement et la démarche question / réponse, problème / solution est très difficile à remettre en cause tant elle est ancrée dans notre culture.

1 Gregory BATESON (1972) « *Steps to an ecology of mind* » Chandler Pub. - San Francisco. Traduction française (1977) « *Vers une écologie de l'esprit* » Seuil – Paris.

2 « 2 + 2 = bleu », film de Thierry MAOUS et Richard PROST. Les Cahiers du Futur. <http://www.giet-info.org>

Nous sommes maintenant à un moment de notre histoire où un changement de paradigme global devient nécessaire. Dans ce cadre, toute question, tout problème, toute problématique, se trouvent énoncés dans les termes du paradigme global actuel et donc désuet. La constatation de la fin (ou de la faillite) du paradigme global dominant actuel n'appelle pas la question « par quoi est-ce qu'on le remplace ? »

C'est bien le point évoqué dans le film : l'objectif n'est pas de fournir une idéologie, des solutions, voire un nouveau paradigme global tout prêt (ce qui de toute façon n'aurait aucun sens), mais bien de sortir de cette attitude de façon radicale. Ce que propose le GIET, c'est de déconstruire au maximum (la tabula rasa n'est pas envisageable) le paradigme global dominant actuel, la culture dominante, pour laisser émerger, issu de l'ensemble des activités de la société (sans limites a priori) un nouveau paradigme global, un nouvel « être-au-monde ». C'est donc vers l'inconnu qu'il faut aller, même si ce n'est pas non plus n'importe comment vers n'importe quoi.

C'est bien ce voyage vers l'inconnu, qui nécessite, pour réussir, la mise en œuvre de ce que l'humanité a de meilleur (intelligence, tolérance, empathie, amour...) qui nous enthousiasme »³.

Faut-il constamment s'interroger sur le contexte qui permet de dire ? Faut-il, à chaque instant, refaire le monde pour pouvoir se saluer ? L'essentiel de l'éducation (directe ou indirecte) consiste justement à mettre en place un contexte commun qui permette de communiquer sans avoir à chaque pas à tout réinventer. Mais il est au moins des moments de l'évolution des idées et du monde où ces a priori implicites ne peuvent plus être seulement vécus passivement. Or, nous sommes à un tel moment.

Les prises de conscience des enjeux majeurs du monde moderne, qui apparaissent comme des fulgurances dans le discours politique, ne débouchent sur rien. La phrase introductive de Jacques Chirac lors du Sommet de la Terre de Johannesburg en 2002 : « *La maison brûle et nous regardons ailleurs* » est une citation classique, et un parfait exemple de l'inanité de ces prises de conscience politiques. En réaction, on cherche en effet, dans le meilleur des cas, des solutions aux problèmes énoncés, sans se rendre compte que ces problèmes sont générés, non par une cause locale identifiable qui pourrait être corrigée, mais par un processus complexe très fortement résilient, qui ne permet pas les corrections ponctuelles proposées. Vouloir répondre à la crise du monde moderne en conservant le mode classique questions/réponses – problèmes/solutions, signifie l'acceptation implicite du contexte culturel (et par là même son renforcement) qui, justement, génère ce que l'on cherche à corriger.

Parallèlement, l'évaluation des produits issus des nouvelles technologies se situe dans l'héritage passif de l'évolution culturelle. Pour prendre l'exemple des OGM, exemple choisi d'une manière générale par le présent travail, l'évaluation se saisit d'un objet technique, tel qu'il est conceptuellement issu des laboratoires et décide que cette caractérisation est la seule pertinente⁴, généralisable à tout contexte, même bien éloigné de celui des laboratoires. Cette même évaluation décide aussi implicitement que les jugements de valeur et de vérité issus de l'éthique générale héritée et de la techno-science sont valides a priori et s'imposent, quasi dogmatiquement.

Nous avons, dans le cadre du Comité Économique, Éthique et Social du Haut Conseil des Biotechnologies (CEES du HCB), formé un groupe de travail⁵ pour aborder ce thème essentiel de l'éthique générale (en évolution) en tant que cadre de l'évaluation. Ces travaux préliminaires sont évidemment complémentaires de celui, actuel, sur l'évaluation globale⁶. Le rapport final est, pour cette raison, annexé au présent travail.

3 Frédéric Jacquemart et Stéphanie Daydé « Titre 2 + 2 = bleu » <http://www.giet-info.org>

4 Cette décision est souvent implicite, mais elle est tout à fait explicitement imposée par l'OMC, c'est à dire par l'industrie agro-alimentaire et semencière et reprise par bon nombre de politiques, qui ne veulent entendre que des arguments scientifiques. La caractérisation des objets issus des nouvelles technologies est issue d'un processus culturel, mais aussi un instrument pernicieux de pouvoir. On lira à ce sujet le travail très éclairant : Léo Coutellec et Muriel Mambrini (2014) « *Le poisson génétiquement modifié au pluriel. Approches interdisciplinaires entre sciences, étiques et sociétés* » QUAE ed. Coll. « Matière à débattre et à décider ».

5 Après un colloque du HCB dont les actes sont à paraître, un groupe a été constitué, comprenant Jacques BLONDEL, Nicolas Bouleau, Léo Coutellec, Patrick Gaudray, Frédéric Jacquemart, Catherine Larrère, Martin Rémondet et Anne-Françoise Schmid, dont les travaux sont résumés dans la brochure « Éthique générale et évaluation des technologies nouvelles », joint en annexe du présent rapport.

6 Nicolas Bouleau, assez hostile au terme « global », me demande de rajouter cette note, ce que je fais volontiers. Disons clairement que « global » ne signifie en rien « total » ni « complet », mais s'oppose à analytique. Nicolas Bouleau : « *Évaluation globale ne signifie pas pour nous une sorte de « bilan véritable » au dessus des visions partielles partisans, mais plutôt une « préoccupation », un « souci de globalité » dont la présence est indispensable pour que les débats aient la pertinence aujourd'hui requise* ».

L'éthique générale, dans notre acception du terme, faite d'explicite, mais aussi de non-dit et même d'ineffable ou d'indicible, constitue en effet une part essentielle de ce « contexte » qui permet de dire les choses du monde, de porter des jugements, de décider. Cette éthique générale ainsi conçue sert de cadre dans lequel les actions humaines (y compris intellectuelles) se construisent dans l'intérêt général. L'être humain étant nécessairement social, la survie de l'individu implique sa mise en compatibilité, voire en harmonie, avec la société (ou les sociétés) qui le concerne(ent). L'éthique générale, depuis la nuit des temps, est sociale et structure fondamentalement le rapport au monde. L'éthique appliquée, celle généralement concernée par les comités d'évaluation, est la déclinaison explicite, l'application, de cette éthique générale, dans des contextes particuliers.

La caractérisation des objets⁷, les jugements de valeur, qui se constituent au sein de l'éthique générale, conditionnent fondamentalement toute démarche évaluatrice. Pourtant, pour prendre l'exemple des OGM, la décision d'évaluer au cas par cas exclut du champ de la réflexion toute considération générale telle que celle qui concerne leur propre sens, leur mode de caractérisation et les jugements de valeur qui peuvent être portés à leur égard. On est bien dans cette situation où l'éthique générale est « déjà-là », historiquement, avant tout énoncé (puisque ce déjà-là est nécessaire à toute énonciation), échappant ainsi à tout regard. La nature, ou la biogée⁸, est un objet qui se caractérise et dont on parle au sein de ce contexte de l'éthique générale que nous appellerons « sociale »⁹. Alors que, globalement, la nature est considérée comme ayant une résilience infinie et que, par conséquent, la préservation de la compatibilité de l'espèce humaine avec elle ne représente pas un enjeu d'intérêt général et, donc, ne structure pas l'éthique, la situation change, ou commence à changer, vers le milieu du XX^e siècle. À ce moment, l'impact des activités humaines sur la nature prend une telle ampleur que cet a priori implicite de la résilience infinie de la nature apparaît intenable à certains. Le fait qu'on ne puisse plus tabler sur cette résilience infinie de la nature et ce, même si on n'adopte pas non plus la proposition inverse, entraîne la plus grande évolution de toute l'histoire de l'humanité pour ce qui concerne son rapport au monde et la conception de soi.

L'objectif, si on peut dire, de l'éthique générale, devient, en plus d'assurer l'harmonie de la société concernée, d'assurer la compatibilité de l'espèce humaine avec la biogée, dont elle fait partie et dépend pour sa survie¹⁰. Nous disons bien « en plus », car il reste bien évidemment nécessaire de maintenir et même de renforcer et d'étendre l'éthique sociale, mais dans le cadre encore plus général de ce que nous nommerons l'éthique biogéenne. Bien entendu, cette évolution est en cours et ne concerne pas encore, loin de là, toute l'humanité. Même pour beaucoup de ceux qui sont engagés dans cette « métamorphose culturelle », ce « changement de paradigme global », ce mouvement n'est pas théorisé et se vit plutôt au jour le jour. Il s'en suit une situation dont l'importance n'a manifestement pas été prise en compte par la société, notamment par les responsables politiques : nous vivons actuellement, sans forcément en avoir conscience, dans une diversité de l'éthique générale qui rend cacophonique tout débat sur les nouvelles technologies et leur évaluation, d'autant plus qu'on les réduit à leur seule dimension technique, les privant ainsi de tout sens possible socialement saisissable.

On conçoit bien ici que toute évaluation, même classique, doit se situer dans le cadre général d'une réflexion concernant une éthique générale qui ne peut plus être seulement considérée comme déjà-là. Nous ne disposons plus, actuellement, des jugements ni des conditions de jugement qui puissent être considérés comme valides a priori, culturellement. Ceci entraîne que nous ne disposons plus non plus du caractère validant de ce qui est « bon a priori ». Par exemple, le fait de produire une PGM tolérante à la sécheresse est annoncé comme étant bon a priori et justificateur de la technologie qui y mène. Dans le cadre d'une éthique biogéenne, cela n'a rien d'évident.

Ce déficit de jugements et conditions de jugements a priori rend évidemment profondément inadéquate l'évaluation technique et au cas par cas, des OGM notamment.

Il est nécessaire que la société se saisisse de ces thèmes fondamentaux et nous espérons que le travail récemment initié par le CEES pourra se poursuivre et prendre de l'ampleur. C'est, en tout cas, dans le cadre d'une éthique générale en évolution que nous situons la réflexion et les propositions qui concernent l'évaluation globale.

Le présent travail vise donc à initier une réflexion en proposant plusieurs axes, qui seront développés, soit ci-

7 Le mot « objet » doit être compris, dans ce texte, comme terme de la relation sujet – objet et n'est pas restreint aux objets inanimés.

8 Michel Serres a créé ce terme de biogée, que nous reprenons pour désigner le système général constitué par la biosphère et le monde abiotique.

9 La concurrence de l'économisme moderne avec l'éthique sociale, dont il tend à prendre la place, est un thème essentiel de réflexion dont les bases ont été jetées par Nicolas Bouleau et Catherine Larrère dans le rapport « Éthique et évaluation des technologies nouvelles » du CEES du HCB.

10 Sur ce sujet, outre le travail pour le HCB, on pourra consulter : John Baird Callicott (2010) « *Éthique de la terre* » Editions Wildproject – Paris et Catherine et Raphaël Larrère (2009) « *Du bon usage de la nature – Pour une philosophie de l'environnement* » Flammarion – Paris.

après, soit lors du colloque du 14 octobre. Il s'agit, sans ordre d'importance, mais tel que l'histoire l'a constitué :

→ tenter de dégager des caractères essentiels d'une organisation. La biogée est un système complexe organisé. Interférer avec des éléments structurants de son organisation met en jeu l'espèce humaine. L'évaluation globale vise donc à savoir si une telle interférence risque de se produire. On ne peut écarter une telle évaluation au prétexte qu'il nous est impossible de prédire la forme que prendrait la réaction du système qui nous héberge (la biogée) dans un tel cas ;

→ trouver des modèles expérimentables permettant de mieux caractériser les caractères généraux (indépendants de l'échelle) de l'organisation des systèmes complexes. Nous proposons ici de travailler sur les répertoires des récepteurs lymphocytaires T de quelques lignées de souris. Les résultats déjà acquis avec ce modèle permettent de mettre en évidence l'importance des concepts de restriction et d'historicité décrits dans l'axe précédent ;

→ le problème majeur étant celui du possible effondrement des systèmes qui nous concernent (dont la biogée...) les travaux, indépendants de notre initiative, concernant la caractérisation des signes avant-coureurs de tels effondrements, y sont rattachés ;

→ l'évaluation, d'une manière générale, mérite attention. Une réflexion philosophique, qui aboutit à la proposition du concept d'évaluation non-standard est menée ;

→ l'évaluation a aussi actuellement un rôle social et politique complexe qui doit être pris en compte. Pour cela, le thème initial doit être élargi, l'évaluation des OGM prenant sa place dans ce contexte général. Il englobe, dans cet axe, l'évaluation des activités sociales dans leur conformité à une idéologie technico-industrielle (cet axe sera exposé lors du colloque du 14 octobre par Roland Gori) ;

→ les OGM, et plus généralement les produits agricoles biotechnologiques sont issus d'une techno-science évoluant de manière quasi exponentielle. Le risque pris à faire dépendre quelque chose d'aussi essentiel que l'alimentation d'un processus qui, d'une part, va flirter avec l'infini dans un espace de temps très proche et d'autre part nécessite des ressources qui ne sont pas infinies doit être évalué. La question des ressources sera abordée par Philippe Bihouix dans le colloque d'octobre. C'est un thème qui sera développé à l'avenir, en l'adaptant à la problématique des biotechnologies de manière plus précise.

Chapitre 1

Petite réflexion sur la relation sujet-objet

« s'il est vrai que la crise environnementale est « la réfutation par la nature elle-même des valeurs et des habitudes de la culture occidentale » (J. Baird Callicott), nous savons désormais ce qu'il en coûte de construire notre humanisme sur une opposition de l'homme à la nature, mais nous ne savons pas encore comment refonder nos valeurs. »

Baptiste Lanaspèze (<http://www.wildproject.fr/bibliotheque.html>)

Dans la conception taoïste, le discours « *génère dix mille êtres* ». Dix mille, dans la tradition chinoise, signifie une immensité imprécise. De fait, parler implique une dualité sujet-objet, dualité créatrice des objets du monde référée à une source de sens. La pensée non-dualiste, hors langage, s'abstient de cette création, non pas en fusionnant le sujet et l'objet, mais bien en s'abstenant de toute création d'objet et de sujet.

Notre culture n'est probablement pas exempte de non-dualisme, mais elle a énormément privilégié le langage comme support de la pensée. La philosophie occidentale (pas seulement elle¹¹) s'exprime explicitement et traite directement des sujets visés. Les philosophies non-dualistes (Hindouisme, Bouddhismes, Taoïsme...) enseignent via un langage qui désigne l'indicible sans en traiter, bien entendu. Ce qui est désigné s'enferme alors volontiers entre les termes d'une antinomie, termes qui ne laissent entre eux aucun espace¹². Le langage n'a pas du tout, dans ces cas, le statut qu'il a dans le dualisme et est en quelque sorte un handicap nécessaire à l'enseignement et plus généralement à la communication. Par contre, le langage explicite, direct, descriptif, engendre en tant que tels les objets du monde.

Le fait que le sujet ne puisse parler de lui-même sans se transformer en autre chose que le sujet qui parle de lui, signe d'une part les limites profondes du langage et d'autre part son caractère créateur d'artificiel. La dualité sujet-objet est, dans le langage explicite, irréductible et se base sur la génération de différences. Le sujet qui parle de lui-même parle d'un autre que lui-même, qui n'a pas le statut du sujet mais celui d'objet.

De manière générale, l'objet n'est pas positivement quelque chose¹³, mais est distinct d'autre chose, avec lequel on pourrait le confondre, cette confusion étant gênante pour le sujet. Le sujet est donc en même temps au cœur de l'objet puisque sa caractérisation dépend de l'intention que le sujet a de le distinguer et en même temps en dehors de lui.

Cette implication du sujet au cœur même de l'objet, de ses relations, de son comportement, implique que l'idée d'une vérité objective est un leurre. Ceci, depuis longtemps montré par les philosophes, mais remarquablement ignoré ou renié par les scientifiques, a des conséquences très importantes vis à vis de l'évaluation des techniques. Non seulement le scientifique (ou l'expert) ne peut pas être neutre, mais l'établissement d'une vérité ne dit rien sur l'adéquation de nos actes avec la compatibilité de l'espèce humaine avec le système qui l'héberge, nous y reviendrons. C'est pourtant la question fondamentale actuelle. Il conviendra donc de revoir la notion de vérité, celle de validation et éventuellement de les compléter, par exemple par la notion de pertinence. Il est également essentiel dans tous les cas de savoir qui parle, et ce, à tous les niveaux, à celui de la notion même de sujet (et d'individu) jusqu'à celui des liens d'intérêts matériels du locuteur physique.

Nous n'avons pas directement accès à la « réalité extérieure », ainsi abusivement nommée. Même dans le cas d'un objet manufacturé, ce n'est pas l'objet que nous avons dans la tête, que nous mettons en relation avec d'autres, mais un concept. Ce concept ne peut être construit n'importe comment sous peine d'incohérence avec cette « réalité »¹⁴, non nommable en toute rigueur, mais qui restreint profondément la manière dont nous pouvons construire les objets, leurs liens leurs comportements, sauf folie. Lacan disait « *le réel, c'est quand on se cogne* »¹⁵. On peut construire de multiples

11 Même dans les cultures profondément non-dualistes, les philosophies dualistes co-existent. En Inde, le Nyâya, qui est une logique, donc éminemment dualiste, fait même partie des voies possibles de la connaissance hindouiste.

12 De même, dans la philosophie hindoue, l'ensemble des renaissances du monde dure le temps d'un clin d'œil de Vishnou, lequel clin d'œil n'a aucune durée.

13 Si ce n'est comme idée préalable non explicite, nous y reviendrons.

14 Réalité, qui, évidemment, ne comporte pas d'objet, puisqu'il faudrait pour cela un sujet qui puisse être « réel » sans qu'il ne soit objet de lui-même. C'est ce qu'évoque l'âtman de la philosophie non-dualiste hindouiste.

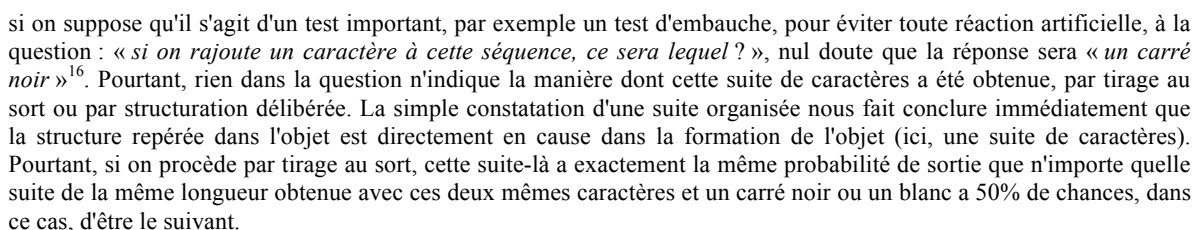
15 Je suis reconnaissant à Nicolas Bouleau pour m'avoir fait connaître cette citation d'une grande profondeur.

La construction d'un objet général abstrait nécessite l'équivalence des objets particuliers constituant cette catégorie. Prenons l'exemple de deux cruches. Elle peuvent être équivalentes pour un marchand d'huile ou de vin si elles ont « même » contenance. Ce « même » renvoie à la précision de la mesure, laquelle correspond à la satisfaction des attentes des utilisateurs, l'identité absolue étant impossible (et inutile). Pour un antiquaire, la date de fabrication des cruches peut en faire des objets différents. Pour un autre, leur poids, leur décoration etc. On peut supposer une catégorie dans laquelle tous les caractères des cruches sont identiques, sauf qu'une cruche n'a pas de caractères propres et « tous » les caractères supposerait qu'un objet « possède » une liste finie et connue de caractère (on peut, par contre, décider conventionnellement qu'il en est ainsi en définissant l'objet). La localisation spatio-temporelle, qui semble être non pertinente, peut elle-même être directement en jeu si notre cruche est une cible.

Qui parle ? (la subjectivité réhabilitée).

Par ailleurs, la notion occidentale moderne de l'individu (entité spatio-temporelle pourvue de qualités) est très contestable. On peut aussi le concevoir comme, lui aussi, délocalisé dans l'espace et le temps, comme expression nodale de flux en réseaux. Ces notions n'ayant pas été discutées, elles ne sont ici signalées que comme thèmes à venir, mais on ne saurait valablement aborder les notions de connaissance et de caractérisation-crédation de l'objet sans aller plus avant sur ce thème. La source de sens, pour l'être humain, est humaine, mais elle n'est complètement nulle part, ceci notamment du fait de la délocalisation essentielle du locuteur, quel qu'il soit.

L'idée principale étant de chercher à évaluer les nouvelles technologies par rapport à ce qu'elles peuvent mettre en cause (perturber) dans l'organisation d'un système (notamment de la biogée), il convient d'essayer d'identifier déjà ce qui est à la base d'une organisation et même d'une forme. Considérons, pour ce faire, la figure suivante :



La rareté extrême de ce que nous pouvons repérer comme étant organisé dans le possible réalisable correspondant peut être généralisé à toute structure et permet de commencer à catégoriser les objets par rapport au sujet.

17 Pour nous, la connaissance consiste essentiellement, lorsqu'on tire une conclusion, à se tromper moins souvent (beaucoup moins souvent si possible) que si cette conclusion était tirée au sort parmi celles possibles.

chiffres. Pourtant, on ne s'attend pas à ce qu'elle sorte, car il s'agit d'une série particulière pour nous. Par contre, la série 3 – 9 – 10 – 21 – 48 sera considérée comme conforme à un résultat de tirage aléatoire, car elle a le caractère négatif de ne pas présenter de structure repérable. Dans le cas des suites organisées (structurées, régulières...), différentes catégories de suites sont identifiables, constituant des objets généraux distincts. Dans le cas des autres, une seule catégorie les regroupe, rendant toutes ces suites équivalentes. Le parieur aura par conséquent tendance à jouer une de ces suites, qui ressemble donc à celles qui sortent en pratique (et qui sortent en pratique du fait que les suites non-structurées-pour-nous sont l'immense majorité).

Nous avons donc deux grandes catégories d'objets : celle des objets pour lesquels nous reconnaissons une régularité ou une organisation, qui se subdivise en de multitudes de sous-catégories particulières et celles, immenses, désignées négativement comme n'ayant pas d'organisation pour nous, dont tous les membres sont grossièrement équivalents (toujours pour le sujet).

Ces deux catégories ne correspondent évidemment pas à ce qui serait intentionnel d'une part et ce qui serait fortuit d'autre part. Ce qui caractérise le hasard est qu'il peut tout réaliser, l'organisé comme l'informe. Ce n'est bien que la rareté de l'organisé-pour-nous qui donne l'impression que ce qui est organisé est causalement produit. Bien sûr, l'organisé peut se produire fortuitement, soit une fois, soit du fait que le nombre de cas est très grand, notamment si on attend très longtemps (comme dans le cas de la vie, qui demande un temps immense avant d'apparaître). Notons dès à présent un aspect qui appelle à la réflexion, qui est la sur-représentation actuelle des objets organisés par rapport à leur probabilité d'occurrence aléatoire. Notons aussi que le terme de probabilité ne renvoie pas vraiment, ici, à la science mathématique du même nom. Même dans le cas de nos suites de symboles, il serait difficile de donner une limite à ce qui est organisé-pour-nous, qui serait nécessaire à un calcul. La référence serait plutôt les « *probabilités philosophiques* » de Cournot¹⁸.

En reprenant les suites de symboles prises pour exemple : il existe 2^{40} , soit environ 10^{12} suites possibles. Il est assez facile de produire un algorithme qui soit capable, au moins de droit, de produire ces 10^{12} suites (on peut produire la procédure qui permet de le faire, même si, en pratique, 10^{12} est un très grand nombre), ou qui produise une série quelconque de ces suites.

Si l'attitude du sujet face à un objet organisé concerne bien son mode de production (il décide implicitement que l'organisation constatée est directement en cause dans son mode de production) ce n'est pas la nature du mode de production qui détermine le caractère organisé ou non d'un objet. Cet objet, on l'a vu, peut être produit spécifiquement (exprès) ou aléatoirement de la même manière et on peut même produire exprès un objet non organisé particulier comme celui qui suit :

□ ■ □ □ □ ■ ■ □ ■ □ □ □ ■ □ □ □ □ ■ ■ ■ □ ■ ■ □ □ ■ □ ■ □ ■ □ □ □ ■ ■ □ □ □ ■ □

Cette dernière suite de carrés va permettre d'aller un peu plus loin dans notre raisonnement. On n'y retrouve en effet aucun ordre. Elle fait partie du grand magma informe des suites non organisées. Il s'agit pourtant de la suite des nombres de 2 à 13, écrits en binaire, en transformant le 1 en carré blanc et le 0 en carré noir, double transformation qui ne comporte aucune ambiguïté¹⁹. Il existe donc des objets non organisés pour nous à l'instant t dans une culture c et qui sont organisés pour nous dans une représentation qui ne fait varier que la forme. Dans l'exemple choisi, il existe, de plus, un domaine d'intentionnalité où cet objet reste le même dans sa nature. Il existe donc des espaces d'objets-pour-nous, fiables entre eux par des espaces d'objets qui les recoupent. C'est finalement un réseau d'espaces dont les relations ne concernent qu'un petit nombre d'éléments de chaque espace.

Avant de revenir sur le pari implicite que représente l'induction (et l'abduction), une mise au point s'impose. La subjectivité une fois ainsi réintroduite, non seulement comme honorable, mais bien comme essentielle, on peut se demander comment une connaissance (par essence générale)

18 Voir à ce sujet : Nicolas Bouleau (2011) « *Risk and meaning : adversaries in art, science and philosophy* » Springer-Verlag

19 J'ai choisi cette suite de manière à ce qu'elle fasse 40 caractères et que le mode de transformation soit non lié au sens porté par l'organisation. Nicolas Bouleau m'a fait remarquer que la suite des entiers en base 2 est connue sous le nom de suite de Champernowne : Champernowne D.G. (1933) « The construction of decimals normal in the scale of ten » J. London Math. Soc. 8:254-260. Il semble exister une assez conséquente littérature à ce sujet.

peut prendre corps. Avec la subjectivité comme substrat, elle devrait être morcelée, individuelle et difficilement communicable. C'est là que les notions de sujet et de source de sens prennent toute leur importance et c'est là aussi qu'on voit qu'une réflexion sur l'ontologie s'avère incontournable. En particulier, mettre en place une évaluation ou une procédure de décision, par exemple concernant les biotechnologies, sans avoir au préalable traité de ce thème aboutit nécessairement à une production dépourvue de sens, ce qui est le cas actuel.

S'il s'agit d'un individu conçu comme une entité spatio-temporelle pourvue de qualités qui lui sont propres, comme dans la conception occidentale moderne, alors, la subjectivité est destructrice de la connaissance. Dans cette conception, « *des goûts et des couleurs, ça ne se discute pas* », du savoir et du jugement non plus. La solution qui s'impose pour réduire le morcellement subjectif est alors celle d'une vérité décrivant la nature, objective, avec ses grands prêtres qui la profèrent²⁰ et les « décideurs » politiques qui exécutent (ce qui est très proche de la situation actuelle). Si, par contre, on conçoit un individu et un sujet délocalisés dans le temps et dans l'espace comme il a été évoqué plus haut, la source de sens est elle-même délocalisée, historique et culturelle, homogène²¹ pour la collectivité qui l'utilise (et qui se co-construit avec), collectivité toujours plongée dans des collectivités autres, homogènes aussi (le modèle ensembliste ou poupées russes ne fonctionne pas ici et généralement pas dans des systèmes complexes, très enchevêtrés). Il faut alors un processus d'homogénéisation qui est l'éducation (parentale, par la collectivité, par des institutions de la collectivité...) et l'entrée dans un corpus se fait par la vérification de cette homogénéité du sens, du moins dans ses bases, pour le corpus considéré (examen, concours, vérification d'aptitude, maintien dans un poste etc.).

Pour mieux juger de cela, reprenons un exemple classique utilisé par le GIET : il s'agit, puisqu'on parle beaucoup ici de tirage au sort, de la vérification expérimentale du théorème de Jacques Bernouilli exprimant la loi faible des grands nombres (Ars coniectandi, Bâle, 1713). En substance, le théorème dit que si on fait des tirages successifs, sans choix, par exemple de boules colorées contenues dans une urne, les proportions des couleurs des boules vont tendre vers celles du contenu initial de l'urne à mesure que le nombre de tirages augmente.

Admettons qu'une équipe de scientifiques « normaux » fasse l'expérience. Un opérateur place dans l'urne un grand nombre de boules dans les proportions suivantes : $\frac{1}{4}$ blanches, $\frac{1}{4}$ vertes, $\frac{1}{4}$ bleues et $\frac{1}{4}$ oranges. Un autre opérateur, ignorant cette composition, procède à de nombreux tirages au sort et retrouve, à un chouilla près, la proportion que son collègue avait préparée.

Dans une autre version de la même histoire, le second opérateur est dyschromatopsique, c'est à dire jugé anormal pour la vision des couleurs (c'est à dire différent de la majorité des humains). Notre homme confond le vert et l'orange en une seule couleur que nous nommerons vérange. À la fin de l'expérience, il obtient $\frac{1}{4}$ de blanches, $\frac{1}{4}$ de bleues et $\frac{1}{2}$ de véranges. Ne retrouvant pas les proportions initiales, il ne vérifie pas le théorème de Bernouilli. Rapidement, il est cependant démasqué et exclu de ce type d'expériences (exclu de ce corpus là).

Dans une troisième version de la presque même histoire, les deux expérimentateurs ont la même dyschromatopsie. La composition décidée par celui qui prépare l'urne est alors retrouvée par celui qui procède aux tirages, vérifiant le théorème de Bernouilli et ce, même si un expérimentateur « normal » de passage constate que tout est foutraque pour lui.

L'important n'est pas l'impossible nature vraie de la chose, mais l'homogénéité de la source de sens dans un corpus, dans le cadre général d'une intentionnalité.

20 Sur le caractère religieux de la science contemporaine, voir par exemple Matthieu Calame (2011) « *Lettre ouverte aux scientifiques* » Ed. Charles Léopold Mayer.

21 C'est à dire cohérent avec la satisfaction de la source de sens intentionnelle.

L'éducation va faire en sorte, non pas de dire ce que sont les choses, mais d'assurer cette homogénéité de la source de sens pour ce qui est pertinent pour elle (circularité propre à l'émergence). « *La culture est ce qui reste quand on a tout oublié* »²² et ce qui reste, ce sont des restrictions²³ assurant cette homogénéité. La violence des heurts culturels tient à l'importance essentielle de cette homogénéité pour la constitution du sens et, partant, pour la constitution de la notion de soi. Petit *a parte* : nous y reviendrons probablement, mais dans l'éclatement culturel qui s'amorce, les dysharmonies dans la source de sens habituelle conduisent naturellement à des violences réactionnelles liées à la perte du soi. La prévention de cette violence réactionnelle est pour nous l'enjeu numéro un du monde moderne²⁴.

Ce qui est pertinent va évidemment varier en fonction de la collectivité concernée et pour appartenir à un corpus, il faut montrer, à l'entrée ou à l'usage, que l'homogénéité avec la source de sens du corpus est suffisante. Notons au passage que si quelqu'un ne sait réellement pas répondre au test d'élongation de la suite de carrés blancs et de carrés noirs, il a fort peu de chance d'entrer et de rester dans le corpus scientifique²⁵. Ce qui peut être dit des conditions de validité de cette induction vaut donc particulièrement pour la science.

Pari implicite a posteriori

La constitution d'un objet général abstrait ne se limite pas à la mise en œuvre de l'induction. L'apprentissage, déjà, passe plutôt par des séries d'essais / erreurs (séries qui ont tout de même à voir avec l'induction) qui positionnent les restrictions nécessaires au sens. À ce sujet, Nicolas Bouleau reprend Thomas Kuhn en ces termes :

« Considérons un enfant visitant un parc zoologique à qui son père apprend à reconnaître les cygnes, les oies et les canards. Des phrases telles que « tous les cygnes sont blancs » peuvent jouer un rôle mais elles ne sont pas indispensables. L'éducation de Jean se fait plutôt ainsi : le père pointe un oiseau et dit « regarde, Jeannot, c'est un cygne ! » et peu de temps après, Jeannot répond « papa, un autre cygne ! » mais il est alors corrigé « non, Jeannot c'est une oie » etc. Au bout d'un certain nombre de corrections, Jean sait reconnaître les cygnes, les oies et les canards. Des oiseaux qui précédemment se ressemblaient sont maintenant séparés en trois amas distincts ».

Bien sûr, ces « amas » ne seront pas nécessairement les mêmes dans toutes les civilisations, les intentionnalités et l'historicité n'étant pas toujours exactement semblables. Néanmoins, ce processus ne peut non plus être considéré comme seul opérant et l'induction sera nécessaire pour construire l'objet dans sa généralité, elle sera nécessaire aussi pour repérer les régularités, pratique fondamentale pour la connaissance (et universelle), à laquelle se mêle aussi l'abduction et/ou d'autres processus encore. Il reste que, encore une fois, quelqu'un qui ne serait pas capable de généraliser à partir d'une succession d'événements reproductibles aurait bien du mal à survivre et en tout cas ne ferait pas de science.

Cet acte si basique, qui nécessite de reconnaître une régularité soulève un certain nombre de difficultés extrêmement intéressantes, notamment le fait, comme il a déjà été signalé, qu'il s'agit de baser la connaissance sur un pari a posteriori et ensuite, que les conditions de validité d'une telle pratique nécessitent de reconsidérer le statut du savoir discursif (et donc aussi de l'éducation).

22 Edouard Herriot (1961) « *Notes et maximes* » Hachette.

23 Voir ci-après.

24 Voir à ce sujet le compte-rendu du programme multi-associatif « *Métamorphose culturelle par la démocratie réelle* » <http://www.giet-info.org>.

25 L'homogénéisation de la source de sens procède effectivement par suggestions, contraintes et éliminations.

Le pari a posteriori tout d'abord : la reconnaissance d'une structure nécessite qu'implicitement nous fassions le pari qu'elle n'est pas le résultat du hasard. Que la connaissance se base sur un pari, ce n'est pas bien gênant en pratique puisque ce pari est très généralement gagnant (mais cela va tout de même à l'encontre de certaines conceptions du savoir). Par contre, ce qui est plus gênant est que ce pari soit a posteriori, c'est à dire une fois que l'événement s'est produit et qu'il est constaté.

Considérons une loterie. Pour éviter l'infini en acte, disons qu'elle comporte un nombre immense de numéros, disons $10^{10\ 000}$ (nous pouvons nous le permettre, s'agissant d'une expérience de pensée). A chaque numéro, nous attribuons un « joueur » (qui peut être un symbole, pour ne pas aggraver notre empreinte écologique). La probabilité pour qu'un joueur donné gagne²⁶ est infinitésimal et négligeable (si nous avons osé l'infini, elle serait nulle).

Le tirage a lieu et il y a nécessairement un gagnant. L'argument, très café du Commerce, mais qui mérite d'être entendu, peut s'énoncer « *ce numéro n'avait pas plus de chance de sortir que le mien, donc la chance que j'ai en pariant n'est pas illusoire* ». Reformulée de manière différente, cela consiste à dire qu'un numéro n'ayant pratiquement aucune chance de sortir ($10^{-10\ 000}$!) est sorti et que c'est le cas à chaque tirage. Le paradoxe est fort si on affecte à l'objet une qualité sous forme de probabilité indépendante de la connaissance et du sujet, c'est à dire si on affecte une probabilité à l'objet lui-même sans introduire la relation au sujet (si on rend la connaissance indépendante du sujet).

Si on se place après le tirage, de deux choses l'une : ou bien le sujet (le « parieur ») n'a pas connaissance du résultat et il est alors dans la situation du pari avant tirage (son numéro a une probabilité indistincte des autres d'être sorti), ou bien il a connaissance du résultat et le numéro sorti devient ce numéro-là, distinct de tous les autres et sa sortie est un **fait**²⁷, étranger à cette probabilité.

Une probabilité ne concerne pas un fait réalisé, mais l'adéquation putative d'un choix fait a priori à la connaissance d'un fait qui va être connu (et qui, éventuellement, peut s'avérer s'être produit longtemps auparavant). Le pari est bien un rapport à la connaissance et non une probabilité d'être, une qualité affectée à un objet.

Ce qui avait du sens avant la connaissance du résultat (la probabilité de sortie) n'en a plus après, car la connaissance a changé dans ses relations avec le résultat. Notons au passage que le caractère déterministe ou aléatoire de la loterie ne change strictement rien à ces relations.

De cette description, on tire qu'il n'y a pas de sens, sans autre prémisses, à parier a posteriori par rapport à la connaissance du résultat. Pour un événement réalisé et connu, parier a posteriori reviendrait à estimer sa probabilité mathématique ou philosophique pour évaluer s'il est raisonnable d'admettre que cet événement a été produit par un processus aléatoire. Dans le cas de notre loterie, pour redire la même chose autrement, nous sommes devant la connaissance d'un résultat, nous savons qu'il y avait $10^{10\ 000}$ possibilités. Parier a posteriori consisterait à considérer que ce numéro avait une probabilité quasi nulle de sortir, beaucoup trop faible que que j'en tienne compte et si, donc, il est sorti et qu'une telle situation se reproduit à chaque tirage, c'est qu'il n'est pas issu d'une loterie. Cette interprétation, manifestement erronée, implique bien de considérer les faits par rapport à la connaissance du sujet, le changement de nature de l'objet correspondant au changement du rapport à la connaissance. Vouloir des objets indépendants des sujets mène à des paradoxes insurmontables. L'idée d'objectivité ne résiste pas longtemps à l'examen, elle est dénoncée depuis longtemps par les philosophes, elle est ici manifestement intenable. Elle est pourtant omniprésente dans l'expertise technique, analytique.

26 Une fois de plus, nous n'avons pas dit ce que signifiait d'être en concordance avec le numéro sorti. Si c'est d'être fusillé, c'est plutôt « perdant » qu'il faudrait utiliser, mais culturellement, c'est plutôt « gagnant » qui vient à l'esprit.

27 Le fait, dans notre acception, est lui-même une probabilité, mais dans un contexte autre. Les termes de la probabilité ici examinée ne le concernent pas.

Une abondante littérature existe concernant le problème de la confirmation des énoncés ou des modèles scientifiques²⁸. L'objectif ici, rappelons-le, n'est pas d'entrer dans ce savant et riche débat, mais de nous servir de cet exemple pour aborder les concepts en rapport avec l'évaluation de nos actes dans un contexte moderne, c'est à dire en évolution rapide, pour ne pas dire explosive.

Le rapport à la connaissance, constitutif des objets et des événements, peut être encore éclairé par la prédiction, autre forme de pari dont l'importance dans la confirmation scientifique ne saurait être minimisée. Après avoir effleuré ce thème, nous tenterons ensuite de montrer la place incontournable de l'indicible (ou ineffable) dans la possibilité du discours.

La prédiction (à propos de)

De nombreux travaux existent concernant le problème de la confirmation des énoncés ou des modèles scientifiques. L'objectif ici, rappelons-le, n'est pas d'entrer dans ce savant et riche débat, mais de nous en servir pour aborder les concepts en rapport avec l'évaluation de nos actes dans un contexte moderne, c'est à dire en évolution extrêmement rapide.

Toujours dans une optique probabiliste (au sens de « *probabilité philosophique* ») la prédiction d'un événement qui s'avère être confirmé a, traditionnellement, un poids considérable dans l'acceptation d'un énoncé, théorie, modèle. Intuitivement, on considère que, vue l'étendue des possibles, tomber juste par hasard n'est pas attendu. Que cette idée intuitive soit recevable ou non n'est pas dans notre objet. L'important, pour nous, est très simple, mais significatif : lorsqu'un paléontologue, par exemple, prédit, à partir d'un os ou d'une dent, des caractéristiques du squelette manquant, il fait une prédiction. Lorsqu'on retrouve les parties concernées du squelette et qu'elles correspondent aux prédictions, les théories ou modèles ayant servi à les énoncer prennent un poids confirmatif considérable car on n'imagine pas qu'elles soient vraies par hasard. Mais sur quoi porte la prédiction ? Certainement pas sur les fait prédits, qui datent, par exemple, de 200 millions d'années avant la « prédiction » qui les concerne. Il en est de même des énoncés des sciences de la nature, qui se réfèrent à des événements très anciens. Cela n'entame en rien le poids confirmatif de la prédiction, qui porte sur la connaissance du fait et non sur le fait en question. L'identification est tellement forte entre le fait et la connaissance qu'on dira que la théorie prédit l'existence de tel satellite de tel corps céleste, satellite qui n'a pas attendu le physicien pour exister. Nous sommes toujours bien là dans un rapport à la connaissance, connaissance construite par une source de sens pour sa satisfaction dans le cadre de restrictions imposées par la nature. Cette conception est étayée aussi par la démonstration de Quine de la sous-détermination de la théorie par les fait qui montre qu'il n'y a pas qu'une théorie qui rende compte de faits « observés » et que ces théories peuvent être contradictoires entre elles. Ces théories sont toutes restreintes par la nature indicible et elles sont construites et retenues par une source de sens pour sa satisfaction.

L'indicible ou ineffable.

Sur les termes, d'abord : ineffable est plus utilisé, mais il signifie plutôt ce qu'on n'arrive pas à dire du fait de sa complexité. De ce fait, indicible sera ici préféré, comme désignant ce qu'il est fondamentalement impossible de dire explicitement (ce qui n'empêche pas une désignation ou une évocation poétique). La base de cette réflexion sera trouvée, à nouveau, dans les théories de la confirmation des productions scientifiques et notamment la justification de l'induction.

28 Sur les problèmes soulevés par l'induction et le classique « *défi de Hume* », on peut voir par exemple : Israël Scheffler (1963) « *The anatomy of inquiry* » New York : Knopf ou Nelson Goodman (1983) « *Fact, fiction and forecast* » (fourth edition) Harvard University Press, traduction française : « *Faits, fictions et prédictions* » (1984) Editions de Minuit.

Encore une fois, il n'est pas dans notre propos d'entrer dans ce débat en tant que tel, mais de nous en servir pour, ici, introduire la difficile notion d'indicible. Les habitudes sont si fortes qu'il est nécessaire de répéter périodiquement cet avertissement.

L'énoncé, très résumé, du « *paradoxe de Hempel* »²⁹ tout d'abord : David Hume ayant énoncé que, dans le cas d'une induction par répétition d'instances (cas de notre suite de carrés noirs et blancs), le contenu des conclusions dépassait nécessairement celui des prémisses, il était impossible de justifier logiquement l'induction, au contraire de la déduction, pour laquelle le contenu des prémisses excède celui des conclusions³⁰. Ceci étant clair, les logiciens ont tenté de clarifier ce qui « donne du poids » à une induction et ce qui permettrait de distinguer entre une induction recevable et une autre non recevable³¹. Bien plus encore, d'autres équivalents logiques sont produits et le bilan de cet intéressant développement logique est que tout objet confirme tout énoncé et son contraire. Maints développements ont été faits, des conclusions apportées. Encore une fois, ce n'est pas ce problème en lui-même qui nous intéresse. Citons tout de même Nelson Goodman, juste pour le plaisir : « *Il en résulte que notre théorie de la confirmation, dans son état actuel, consiste en une définition qui s'applique à des cas que l'on ne peut décrire que comme les cas auxquels elle s'applique. La théorie fonctionne là où elle fonctionne* »³².

D'où viennent toutes ces difficultés ? Il est, bien entendu, hors de question de discréditer une procédure telle que l'induction, aussi manifestement essentielle, au prétexte qu'elle échappe à la logique classique. Il apparaît plutôt préférable de relativiser la capacité de la logique à rendre compte de ce qui est essentiel. Ceci étant dit, il nous faut remarquer que les paradoxes naissent à l'occasion de la négation. Le non-corbeau apporte le trouble. Effectivement, un non-quelque chose ne peut avoir de sens que dans le cadre de la même intentionnalité qui préside à la création de l'objet explicitement désigné. D'autre part, la possibilité d'utiliser la négation est indispensable. De fait, si un oiseau ou même quelque chose, au loin, est mauve, ce n'est pas un corbeau³³.

Mais que désigne le non-corbeau ? Si on en reste au domaine des objets, c'est à dire celui du langage explicite, alors, ce non-corbeau désigne tous les objets possibles (y compris dans un avenir lointain) sauf le corbeau, mais qui, justement, n'est pas posé comme totalement connu, d'une part parce qu'il n'est pas possible de connaître un objet dans sa totalité et d'autre part du fait que, justement on cherche à en confirmer la généralité. En outre, ce non-corbeau va, même dans l'univers des objets, renvoyer aussi ce qui n'est pas un objet, c'est à dire cette catégorie informe recouvrant le non-organisé dont nous avons parlé plus haut. Ce qui n'est rien est aussi un non-corbeau, ce qui, une fois de plus, est quelque peu paradoxal.

Finalement, nous nous approchons du non-dualisme, car nier le corbeau nie quoi ? Le bec, ou la totalité du corbeau, y compris son caractère d'objet ? Si l'objectalité elle-même est niée par la négation du corbeau (et comment cela ne le serait-il pas ?) alors, ce qui est désigné (montré du doigt) par la négation de n'importe quel objet et ce, de manière équivalente, n'est autre que l'*ātman*³⁴

29 Carl Gustav Hempel (1945) « *Aspects of scientific explanation and other essays in the philosophy of sciences* ». The Free Press – New York.

30 Rappelons que dans un système logico-déductif (mathématiques, logique) les prémisses et les règles de transformation ont une vérité conventionnelle.

31 Un exemple d'énoncé non recevable pourrait être : « *tous les cygnes sont blancs et il existe des nombres premiers* », énoncé pour lequel on ne peut admettre que la confirmation d'un des composants de l'énoncé, en réduisant la partie indéterminée de son contenu, en confirmerait la totalité. Nelson Goodman montre néanmoins que l'établissement d'une méthode générale distinguant les énoncés recevables et non recevables est impossible.

32 Nelson Goodman (1984 pour la traduction française) « *Faits, fictions et prédictions* » Editions de Minuit.

33 Bien entendu, ce n'est pas une inférence. Si les propositions générales concernant le corbeau n'entraînent pas trop d'exceptions en incluant dans l'objet « corbeau », cet oiseau mauve pourra être décrit ou défini de manière à l'inclure. Encore une fois, il y a adaptation de l'objet aux intentionnalités et coutumes de la source de sens. L'exemple classique de la baleine passant de poisson à mammifère est exemplaire de cette adaptation aux besoins dominants.

34 Il existe plusieurs acceptions du terme *ātman*. Ici, nous le prenons comme désignant le résultat d'un total effacement

de la philosophie hindoue, qui, signifiant à la fois le soi, le non-soi et aucun des deux, ou l'absolu indifférencié, pointe vers l'indicible.

Citons Lucien Sève³⁵ : « *Par sa forme d'énonciation, le non-soi ne se présente que comme le contradictoire du soi, c'est à dire que, face à l'identité du soi, il embrasse potentiellement une infinie diversité : le non-soi ne se réduit pas à un autre soi* ». Dans le domaine des objets et du langage, l'image négative de l'objet renvoie aussi l'image de son incomplétude. En fait, ce « non-soi », si on veut éliminer tout contexte, n'embrasse pas une infinie diversité, comme le pense Lucien Sève, qui reste dans un univers dualiste. C'est bien là la difficulté : pour franchir cette limite, il faut une expérience individuelle qu'on ne peut transmettre mais seulement indiquer. Lucien Sève continue ainsi : « *on voit ainsi s'esquisser à la limite la figure d'un non-soi qui ne serait pas relatif mais absolu et qu'on pourrait nommer le tout autre, avec lequel le soi n'a pas d'échange organique, formant un système clos par rapport à lui. Le tout autre est une variété hyperbolique et paradoxale de non-soi qui semble sans rapport avec le soi auquel, pourtant, il se rapporte comme sa négation* ».

L'absolu de Sève n'est pas un absolu indifférencié, il reste enfoui dans l'univers de la dualité, ce qui lui permet de parler de la diversité de cet absolu, qui signifie seulement l'univers des objets et même des objets possibles. Indifférencié peut signifier : dans lequel on n'a pas introduit de différence, c'est à dire qu'on n'a pas créé d'objet ni de diversité possible et qu'on ne parle pas, ou plutôt qu'on ne dise pas explicitement quelque chose, car il est malgré tout possible, grâce à la potentialité a-logique du langage, de parler à propos de ce qu'on ne peut pas dire.

Cet absolu-indifférencié est évidemment incompatible avec l'univers scientifique. Pour que ce non-soi, ce non-corbeau, ce non-quelque chose, ne renvoie pas paradoxalement à l'*ātman* ou au *Tao*, il faut rien moins qu'un contexte historique d'usage (déjà-là). De même, en posant notre suite de 40 caractères, on pose du même coup un contexte qui rend possible la prédiction, notamment, de manière implicite et spontanée, un sens de lecture, une limitation de l'acceptable à des carrés noirs ou blancs³⁶.

Si tout est possible, alors, on ne peut rien dire sur rien³⁷. L'univers dualiste, du langage, impose, pour permettre ce langage, une indication préalable, peut-être comme dans un mouvement allant du non-dualisme vers le dualisme au cours duquel émergerait la possibilité de dire.

Avant de penser l'objet « corbeau », il faut une idée du corbeau qui ne soit pas encore un objet et n'appartienne pas au langage (sinon, on recommence à l'infini!) mais qui, progressivement, limite le champ du possible et initie l'intentionnalité. Dans cet univers dualiste, qui est celui des êtres humains, le non-corbeau ne renvoie ni l'absolu-indifférencié, ni tout objet, ni quelque chose de précis, mais quelque chose de suffisamment restreint pour avoir du sens ou un embryon de sens. Il est juste stupide de prendre un stylo bleu pour confirmer que les corbeaux sont noirs, car l'intention s'inscrit dans une idée préalable de corbeau, qui n'est pas un objet mais qui est permissive du discours et du sens. La logique n'est pas absolue. Elle aussi prend son sens dans ce contexte et l'ignorer mène à des paradoxes.

À partir de là, la vérité établie ne se suffit pas à elle-même. Il faut aussi en retracer l'histoire en mobilisant l'indicible. L'évaluation, qui se base en très grande partie sur cette vérité, ne saurait être adéquate à la situation moderne qu'en impliquant ceux qui savent médiatiser l'indicible, notamment les artistes (certains artistes). L'art permet d'ouvrir les échanges au-delà du langage

du couple sujet-objet par la méditation hors langage. De cette manière, nous réconcilions les hindouistes et les bouddhistes !

35 In Jean Bernard, Marcel Bessis et Claude Debru (1990) « *Soi et non-soi* » Le Seuil.

36 et en excluant, non seulement un « éléphant bémol » mais plus banalement un espace, qui pourtant, est un caractère utilisé dans la suite carré noir, espace, carré blanc, espace...

37 Dans « *La bibliothèque de Babel* » du recueil de nouvelles « Fictions », Jorge Luis Borges fait vivre cette constatation avec une force remarquable. On y trouve une mise en situation romanesque de l'extrême rareté nécessaire du signifiant.

explicite et il doit prendre une place de premier plan dans la société d'aujourd'hui, non comme divertissement mais bien comme moteur de l'évolution culturelle.

On peut, à partir de là, envisager notre thème (l'évaluation globale) dans un contexte sémantique notablement différent de celui en usage, ce dernier aboutissant, rappelons-le, à la destruction de l'organisation du système dont nous faisons partie, ce qui est une erreur manifeste. Notamment, on ne peut pas raisonnablement évaluer nos actes et nos techniques sans regarder si le contexte de leur émergence est adéquat avec notre intention de préserver une vie sur terre compatible avec celle de notre espèce. Cette intention-là forme l'ossature de l'éthique générale dans laquelle doit se situer l'évaluation, globale comme analytique.

Synthèse

À ce stade, une synthèse devient possible. Eric Conway et Naomi Oreskes, historiens, ont écrit une histoire de la fin de la culture occidentale en se plaçant dans la peau d'un historien qui la décrit 300 ans après³⁸ (les auteurs supposent donc un effondrement de notre civilisation avec persistance de l'humanité, ce qui est loin d'être évident). Parlant, dans l'introduction, de l'historien du futur :

« son texte s'efforce de résoudre une énigme. Nous, enfants des Lumières, nous disposions de connaissances robustes sur le changement climatique. Nous étions parfaitement informés des catastrophes qui allaient suivre. Alors, pourquoi n'avons-nous rien fait ? Parce qu'un second Âge des Ténèbres s'était abattu sur la civilisation occidentale : le déni et l'aveuglement, ancrés dans un engouement idéologique pour le libre marché, avaient désarmé les puissances mondiales face à la tragédie. En outre, les plus aptes à comprendre le problème – les scientifiques – étaient paralysés par leurs propres pratiques culturelles : ils ne pouvaient tenir pour vraie une assertion, même sur des dangers imminents, que si elle satisfaisait à des critères excessivement rigoureux ».

Il est vrai que le déni est une tendance humaine très forte face à un danger très grave. La guerre est impossible, même lorsqu'elle est présentée comme imminente, jusqu'à son éclatement. Des gens vivent sur des failles géologiques et en décrivent les risques, tout en restant sur place. D'autres vivent aux pieds de volcans actifs, etc. La raison peut conclure à une évolution tragique probable sans que pour autant la conscience ne la prenne en compte, c'est même généralement le cas. Le déni actuel des problèmes écologiques face à des données pourtant plus que parlantes est significatif de cela et ce déni du gravissime est assez bien illustré par la page du site officiel de la Préfecture de Fukushima copiée en mars 2014 :

38 Eric M. Conway et Naomi Oreskes (2014) « L'effondrement de la civilisation occidentale – un texte venu du futur » Editions Les Liens qui Libèrent.



Welcome to Fukushima!

Fukushima Prefecture is full of beautiful nature, characteristic history and culture: affluent and delicious agricultural products and sea foods; and over 100 hot spring spots

Tourism of Fukushima

Fukushima Prefecture is gifted with many delicious foods and sightseeing spots!



[Aizu Region](#)

[Central Region](#)

[Coastal Region](#)



[Cultural facilities](#)

[Traditional festivals](#)

[Sports & Leisure](#)

[Mt. Bandai](#)

[Oze](#)

[Hanamiyama](#)

Mais ce déni est-il la raison principale de l'échec systématique des décisions internationales basées sur les constats des impacts écologiques des activités humaines et sur leurs perspectives ? La fiction historique de Conway et Oreskes est très pertinente et instructive, construite sur une documentation solide. Néanmoins, le texte introductif occulte un fait incontournable : l'activité la plus valorisée dans la culture occidentale, l'activité techno-scientifique, représente le moteur et la possibilité de cette destruction de notre propre milieu de vie. Elle occulte aussi le fait que, quelque soient les désirs d'arrêter ce processus destructeur, ils se heurtent à la résilience extrême du processus qu'on pourrait appeler « processus civilisationnel » (voir à ce sujet la partie sur la résilience de « *Éthique générale et évaluation des technologies nouvelles* »), dominé par la partie techno-scientifique.

Ce processus auto-organisé a une autonomie qui contrarie toute initiative visant directement à en modifier les conséquences. Il a sa propre logique, ou plutôt sa propre dynamique, dans laquelle les causalités évoquées par Conway et Oreskes ne sont que des expressions de cette dynamique, qui lui confère un aspect apparemment inéluctable (« *on n'arrête pas le progrès* »), ce caractère inéluctable étant d'une part temporaire jusqu'à l'effondrement et d'autre part valide seulement tant qu'on s'adresse à ses expressions et non à son organisation même.

Une évaluation de nos actes (dont celle des technologies nouvelles) visant à la pérennisation de l'espèce humaine dans un état qui soit suffisamment agréable doit prendre en compte ces deux constats désagréables en s'intéressant à ce qui rend la techno-science destructrice, non par erreurs d'utilisation, mais par nature (qui s'exprime maintenant). Cette évaluation ne doit plus seulement prendre en compte les expressions du processus civilisationnel dominant, mais surtout la manière dont il a émergé et son organisation, sa dynamique. L'évaluation globale va devoir prendre en compte le processus civilisationnel dans lequel la techno-science se développe et prend sens. On est loin, très très très loin, du cas par cas.

La manière dont on cherche à apporter des corrections aux impacts de nos activités sur la biogée (surtout centrée sur les atteintes à la santé humaine) comme l'interdiction de tel ou tel pesticide, la création de réserves dits naturelles etc., ressemble très fortement à ce que le GIET a appelé « le syndrome Gramsci »³⁹. Ce syndrome, qui caractérise aussi fortement le milieu associatif,

39 Du nom d'Antonio Gramsci, révolutionnaire italien qui a décrit ce phénomène.

peut être résumé ainsi : en voulant corriger des effets jugés néfastes du processus civilisationnel en posant les problèmes dans les termes fournis par ce processus, on conforte ce dernier en recherchant des solutions. Par exemple, concernant le monde associatif opposé aux OGM, contester ces produits issus des laboratoires dans les termes techniques et réduits à la technique, revient à valider la pertinence exclusive de ce domaine, tel qu'il est, ce qui est un contre-sens total. Inf'OGM s'exprimait ainsi en concluant l'ouvrage sur l'évaluation technique des OGM⁴⁰ :

« Les effets directs sur la santé et la nature, qui font théoriquement l'objet de l'évaluation (à condition, encore une fois, qu'elle soit faite correctement), doivent être étudiés, avec d'autant plus de soin qu'il s'agit d'exposer les consommateurs à des produits nouveaux pour eux. Mais cette partie du problème est cependant l'arbre qui cache la forêt et empêche d'aborder l'essentiel du dossier. Il est urgent de rendre enfin à l'évaluation technique la place qui est la sienne : un strapontin ».

Le danger est double : se tromper de cible comme on le fait actuellement, ce qui rendent inefficaces, pour le côté politique, les mesures visant à empêcher l'atteinte écologique, mais aussi, en se mettant en situation de ne pas envisager les aspects fondamentaux qui doivent l'être⁴¹, l'autre danger est d'entraîner une mise en accusation de la science et des scientifiques, ce qui aurait des conséquences gravissimes⁴². Devant une situation catastrophique ou qui s'annonce telle, la recherche d'un bouc émissaire est un classique du genre. La mise en question, pacifique et démocratique (par la démocratie réelle) de la techno-science et de la civilisation occidentale est, selon nous, une condition *sine qua non* au maintien de la paix sociale⁴³. Toujours selon nous, cet enjeu ne concerne pas les générations futures, mais nous-mêmes, maintenant. L'évaluation globale a aussi un rôle pédagogique, en montrant la possibilité de la sortie d'un mode de raisonnement exclusivement réductionniste et causaliste et ce, avec la participation du monde scientifique et technique⁴⁴.

En contraste, citons le récent projet de l'UNESCO de « *recommandation concernant la condition des chercheurs scientifiques* » :

« Reconnaissant

a. Que les découvertes scientifiques et les innovations et applications technologiques qui y sont liées ouvrent d'immenses perspectives de progrès qui résultent en particulier de l'utilisation la plus efficace de la science et des méthodes scientifiques pour le bien de l'humanité et pour contribuer à la préservation de la paix et à la réduction des tensions internationales mais peuvent, en même temps, présenter certains dangers qui

40 Inf'OGM (2012) « *Expertise des OGM: l'évaluation tourne le dos à la science* » <http://www.infogm.org/brochure-expertise-des-OGM-l-evaluation-tourne-le-dos-a-la-science>

41 On retrouvera une analyse proche dans l'oeuvre d'Ashis Nandy, notamment (1984) « *The intimate enemy. Loss and recovery of Self under colonialism* » traduction française (2007) : « *L'ennemi intime* » Fayard. Extrait : « ...la violence ultime du colonialisme contre ses victimes, celle qui consiste à créer une culture dans laquelle les dominés ont constamment la tentation de combattre leurs maîtres dans les limites psychologiques qui leur sont imposées ». Gandhi est un des très rares hommes politiques à avoir compris et évité cet écueil.

42 La démarche de Theodore Kaczynski, dit « Unabomber », procède très exactement de ce type d'erreur et pourrait constituer une prémisse d'un mouvement plus vaste si on continuait à ne pas vouloir sortir du tout analytique. Dans ce royaume de la causalité, la techno-science étant jugée à l'origine du problème, elle est coupable et il est licite de la combattre (éventuellement par la violence, comme dans le cas de Kaczynski). On voit bien, avec cet exemple, le caractère absurde de cette pensée réductrice.

43 Le programme « Métamorphose Culturelle par la Démocratie Réelle » a été initié avec des associations dédiées à la non violence (Gandhi International) et à la prévention de la violence (Le Lien Théâtre).

44 Voir aussi : Paul R. Ehrlich, Peter Kareiva & Gretchen C. Daily (2012) « *Securing natural capital and expanding equity to rescale civilization* » *Nature* 486:68-73. doi:10.1038/nature11157.

constituent une menace, surtout au cas où les résultats des recherches scientifiques sont utilisés contre les intérêts vitaux de l'humanité pour la préparation de guerres de destruction massive ou pour l'exploitation d'une nation par une autre, et en tout état de cause, poser des problèmes éthiques et juridiques complexes,
b. Que, pour faire face à cette situation, les États membres devraient mettre en place ou concevoir des mécanismes pour l'élaboration et la mise en oeuvre de politiques scientifiques et technologiques adéquates, c'est-à-dire de politiques qui viseraient à éviter les dangers éventuels et à tirer pleinement parti des aspects positifs des découvertes scientifiques et des innovations et applications technologiques »

avec une définition de la science comme suit :

*Le mot «science» désigne l'entreprise par laquelle l'homme, agissant individuellement ou en groupes, petits ou grands, fait un effort organisé pour **découvrir et maîtriser** au moyen de **l'étude objective** de phénomènes observés la **chaîne des causalités**; rassemble les connaissances ainsi acquises, en les coordonnant, grâce à un effort systématique de réflexion et de conceptualisation, qui s'exprime souvent en grande partie sous forme de **symboles mathématiques**; et se donne ainsi la possibilité de tirer parti de la compréhension des processus et phénomènes qui se produisent dans la nature et dans la société. »*

Nous avons mis en exergue un certain nombre de termes de cette définition, qui sont significatifs de la vision de la science par l'UNESCO. La science, dans son acception baconienne (maîtriser la nature) peut, par erreur, être nuisible (et non par essence) mais il faut de plus en plus de science, telle qu'elle est, pour trier ce qui est bon et pas bon... L'expression par le symbolisme mathématique, dont la présence surprend dans une telle définition, ne fait que souligner le caractère mystique qu'a pris la science contemporaine (avec ses signes cabalistiques pour initiés) associée à la conception axiomatique, support de la puissance. En plus du caractère exemplaire de ce texte, il n'est pas anodin que l'UNESCO veuille « proposer » (et même, en fait, un peu plus que proposer) cette vision-là au monde entier...

Chapitre 2

Vers une évaluation globale

« Qu'il n'existe pas de justification ni de preuve rationnelle du savoir de la nature, contrairement à ce qu'on escomptait, paraît assez vraisemblable, quand on réfléchit à notre situation dans l'univers. Nous ne disposons d'aucune méthode qui nous permettrait de trouver le vrai à coup sûr. Au contraire, nos chances de découvrir la vérité sont minces et nos théories vouées à renfermer des erreurs. L'idée d'une justification du savoir empirique repose sur le préjugé et l'attachement à l'autoritarisme en matière de connaissance »

Jean Largeault

La possibilité de dire quelque chose implique, nous l'avons vu, une restriction majeure dans le possible réalisable. Ce pari a posteriori est logiquement injustifiable. Il faut bien, pour que cette pratique fondamentale permette des actes cohérents, que le fait de considérer a priori qu'une régularité constatée fait partie d'un ensemble extrêmement petit est, d'une façon ou d'une autre, en accord avec le réel. Un des actes les plus essentiels permettant l'émergence d'une forme doit donc être une restriction majeure dans le possible réalisable.

Nous allons maintenant essayer de montrer comment, dans une approche systémique, cette restriction majeure permet au bruit d'être organisateur en l'historicisant. Nous en tirerons ensuite les conséquences pour l'évaluation de nos actes et en particulier pour celle des OGM et autres produits biotechnologiques (de la biologie de synthèse notamment).

De la restriction

Lors d'un colloque sur la complexité, Henri Atlan donnait quelques chiffres⁴⁵ : en se basant sur une moyenne très basse de 100 acides aminés par protéine, le nombre de protéines possibles est d'environ 10^{120} . Atlan se demande si un ordinateur très puissant pourrait explorer toutes ces possibilités. Il suppose alors, en se plaçant dans des conditions irréalisables, qu'un ordinateur soit capable de calculer un état en 10^{-50} secondes (ce qui dépasse ce qui est physiquement concevable, la vitesse d'un ordinateur étant de toute façon limitée par celle de la lumière). Il compare ensuite le nombre de protéines à calculer, (10^{120}) avec l'âge de l'univers ($4,7 \cdot 10^{17}$ secondes environ) mesuré avec comme unité celle supposée pour le calcul (10^{-50} secondes), qui serait donc de... seulement (!) $4,7 \cdot 10^{67}$ unités, nombre encore tout petit par rapport à celui des protéines potentielles. Atlan poursuit :

« parmi toutes ces possibilités, seule une toute petite fraction semble compatible avec la vie des organismes tels que nous les observons, puisque la plupart des modifications par rapport à l'état fonctionnel d'une protéine, c'est à dire son activité enzymatique, conduisent à la disparition de cette activité. On doit donc admettre que la constitution des organismes a dû s'accompagner d'un processus de sélection qui a réduit d'une façon drastique le nombre de possibilités finalement retenues. On voit qu'il est physiquement inconcevable que cette sélection ait pu s'effectuer par un mécanisme d'essais systématiques explorant la totalité des possibilités. L'évolution biologique devait donc comporter des mécanismes de sélection orientés a priori – par exemple, des phénomènes de coopération amplificatrice – qui éliminent des nombres immenses de possibilités avant même de les explorer ».

À noter que le nombre d'acides aminés est lui-même restreint par rapport à ce qu'il serait possible de faire avec les atomes disponibles. On peut penser que tous les organismes dérivent d'une même cellule et que le « code génétique », restreint, a limité pratiquement toute la vie à ces seules molécules. Le nombre de protéines effectivement réalisé est immense, mais n'est presque rien par rapport au possible réalisable correspondant.

Dans le même texte, Atlan donne un autre exemple, très significatif lui aussi. Il suppose deux états possibles seulement pour les neurones d'un mollusque qui en aurait cent. Par comparaison, l'être humain comporte environ dix milliards de neurones... Dans le cas du mollusque en question, le nombre d'états possibles de son cerveau est de 2^{100} , soit environ 10^{30} , qu'Atlan compare avec l'âge de l'univers mesuré en millisecondes ($4,7 \cdot 10^{20}$) !

⁴⁵ Henri Atlan (1991) « L'intuition du complexe et ses théorisations » in Françoise Fogelman Soulié « Les théories de la complexité » Le Seuil.

Avec les nombres immenses générables par les combinatoires, il serait illusoire d'accéder à une quelconque connaissance sans que n'opèrent des restrictions drastiques. La restriction est ce qui permet que n'importe quoi ne s'exprime. L'éducation d'un enfant consiste essentiellement à restreindre, à interdire. La liberté est faite de contraintes, l'absence de contraintes ne permet pas la structuration. Certes, l'imitation fait partie de l'apprentissage, mais cette imitation est bordée par des rectifications. Le sens n'est possible que si tout n'est pas signifiant. Pour reprendre l'exemple de la bibliothèque de Babel de Borges, si tous les livres possibles de 410 pages de 40 lignes comportant 80 caractères, écrits avec 25 symboles, figurent dans la Bibliothèque, tout ce qui est vrai est écrit quelque part, mais il est impossible de savoir où ni de le distinguer de tout ce qui est faux. Comme le souligne Borges, la probabilité de découvrir une phrase pourvue de sens dans une des langues de la planète est infime : « *pour une ligne raisonnable, pour un renseignement exact, il y a des lieues et des lieues de cacophonies insensées, de galimatias et d'incohérences* ». Nous pouvons parler grâce à la restriction massive dans le possible réalisable, rien ne peut exister qui soit pourvu de sens sans cette restriction. Deux citations de ce texte d'une richesse extrême sont particulièrement éclairants :

« De ces prémisses incontournables, il déduisit que la Bibliothèque est totale et que ses étagères consignent [...] tout ce qu'il est possible d'exprimer, dans toutes les langues. Tout : l'histoire minutieuse de l'avenir, les autobiographies des archanges, le catalogue fidèle de la Bibliothèque, des milliers et des milliers de catalogues mensongers, la démonstration de la fausseté de ces catalogues, la démonstration de la fausseté du catalogue véritable, l'évangile gnostique de Basilide, le commentaire de cet évangile, le récit véridique de ta mort, la traduction de chaque livre en toutes les langues, les interpolations de chaque livre dans tous les livres ».

quant à la suite :

« Quand on proclama que la Bibliothèque comprenait tous les livres, la première réaction fut un bonheur extravagant. Tous les hommes se sentirent maîtres d'un trésor intact et secret. Il n'y avait pas de problème personnel ou mondial dont l'éloquente solution n'existât quelque part : dans quelque hexagone. L'univers se trouvait justifié, l'univers avait brusquement conquis les dimensions illimitées de l'espérance ».

elle évoque fortement le bonheur extravagant que procurent les perspectives quasi infinies de la réalisation par la biologie de synthèse de ce que la nature ne fait pas, pour, justement, avoir la possibilité d'être.

Si le *primum movens* de l'organisation et du sens consiste en une restriction majeure dans le possible réalisable, alors, comment accepter que sans réflexion et justification préalable, la transgression de ces restrictions constitue un désir valorisé et une justification a priori ?

La transgénèse et d'autres techniques de biologie moléculaire visent à transgresser une limite naturelle. Tous les échanges d'ADN sont naturellement restreints. Tous les échanges ne sont pas restreints pour toutes les catégories, il n'est pas question ici de « barrière des espèces », certains virus peuvent infester plusieurs espèces etc., mais tous sont restreints : il est difficile pour nous de faire un bébé avec un haricot, les virus ont des contraintes moléculaires déjà pour se fixer sur les cellules, même les échanges d'ADN nu dans le monde bactérien n'impliquent pas n'importe quelle bactérie dans n'importe quel état. Toutes ces restrictions, majeures, permettent l'organisation du « système vivant ». Si on demande, comme le fait l'évaluation analytique, « *quelle conséquence va avoir cette transgression-là sur la santé ou l'environnement ?* », nous ne disposons d'aucune manière d'y répondre. Si nous envisageons globalement et sans chercher à prédire ce qu'il nous est impossible de deviner, cette transgression, ou surtout un nombre important de ces transgressions (par exemple si la transformation génétique intentionnelle devenait une habitude) comme altération possible de l'organisation du vivant, alors, nous posons en des termes nouveaux et cohérents avec la situation du monde moderne, l'évaluation, globale, au sein des implicites culturels.

La phrase : « *si la transformation génétique intentionnelle devenait une habitude* » mérite un petit développement. On voit tout d'abord que dans notre optique, peu importe la technique utilisée. Les catégories imposées par la technique ne sont pas adéquates dans tout l'espace d'usage de ces objets. L'habitude, ensuite. Un des problèmes soulevés par certains⁴⁶ au CEES du HCB⁴⁷ a été celui de l'irréversibilité sociétale. Nous touchons là aussi à un pan de l'évaluation globale.

L'irréversibilité sociétale

46 France Nature Environnement, Greenpeace, Fédération Nationale de l'Agriculture Biologique, les Amis de la Terre, Union Nationale des Apiculteurs de France, Haut Conseil de la Santé Publique, Confédération Paysanne et François Veillerette à titre personnel.

47 Comité Économique, Éthique et Social du Haut Conseil des Biotechnologies.

On a souvent tendance à considérer la société et ses produits dans une relation hiérarchique. Ainsi, la société crée l'automobile. Du même coup, implicitement, il apparaît que la société peut « gérer » cette invention. Or, s'il est vrai qu'après les quelques premières automobiles, on aurait pu, pour des raisons quelconques, arrêter cette voie de recherche et de production, cela n'est pas resté vrai très longtemps. La société se co-construit avec ses productions techniques, ouvrant de nouveaux possibles et fermant des voies antérieures. Serait-il possible, par exemple au motif de la pollution engendrée, du changement climatique et des divers impacts écologiques directs ou indirects, qui le justifieraient pourtant pleinement, pour quiconque, de prendre la décision maintenant d'arrêter l'automobile ? Est-ce un choix possible ? Il en est de même pour l'ordinateur. Dans les années 1980, par exemple, qui ne sont pas si éloignées que cela, on ne disposait pas d'ordinateurs personnels et on vivait bien sans. Bien, mais pas de la même façon. Certains pensent que si on vivait bien avant sans, le supprimer reviendrait à retourner à vivre comme à l'époque précédente. Bien entendu, il n'en est rien, car la société s'est structurée avec l'ordinateur et sa suppression entraînerait, comme pour l'automobile, l'électricité etc., une situation catastrophique à court terme. On voit déjà comment les produits biotechnologiques transforment la société et commencent à se rendre indispensables, y compris dans leurs potentialités (même utopiques : le rêve a ses nécessités sociétales). Il est donc indispensable de juger de la réversibilité d'une technologie dont on se demande si elle est souhaitable et dont on cherche à deviner l'impact. Il est clair que le cas par cas, une fois de plus, est totalement contre-productif dans toutes ces interrogations, pourtant essentielles au cas où on voudrait avoir une vision responsable de l'avenir.

Dans cette évaluation globale, qui va au-delà des possibilités d'analyses, mais qui en tient compte, il faut examiner les changements de pratiques, pertes de savoir-faire des techniques précédentes, évaluation des investissements engendrés par les changements de pratiques agricoles, l'utilisation des surfaces, la réduction de la main d'oeuvre, la disponibilité des semences non modifiées, les changements qualitatifs des produits alimentaires et industriels, les changements de gouvernance (domination des grandes industries sur le politique par exemple) etc. Mais outre ces facteurs d'irréversibilité, il ne faut pas oublier que l'acceptation et la banalisation des nouvelles techniques, dont les biotechnologies, confortent le modèle général et le mode de pensée qui les génèrent. Il est donc nécessaire de mettre en démocratie réelle ce modèle général.

L'historicité

L'organisation nécessite une restriction drastique dans le possible réalisable, mais pas de manière quelconque. Si on considère que, d'une part, le hasard peut tout produire (et on peut même, ce qui est notre cas, penser que le hasard est à l'origine de la vie) et que, d'autre part, ce qui caractérise une organisation est qu'elle se distingue du hasard, il semble y avoir un paradoxe. Ce paradoxe ne peut, à notre sens, se résoudre qu'en assumant l'historicité comme caractère épistémique de tout objet ou forme ou organisation. Du même coup, le hasard historicisé prend sa place dans l'organisation.

Toute la culture occidentale est imprégnée de la pensée grecque ancienne où les mathématiques fournissaient le modèle parfait de la pensée. Actuellement encore, comme le souligne le texte de l'UNESCO, n'est vraiment sérieux et recevable que ce qui s'exprime sous forme de symboles mathématiques. La crise du fondement des mathématiques n'a pas encore eu grand effet au niveau culturel général. La volonté d'évacuer la subjectivité, l'ambiguïté, la variation, le sens, a marqué l'évolution culturelle, disons, depuis le XVI^e - XVII^e siècle. La fin de la possibilité de croire que les mathématiques décrivaient directement la nature, la mise au jour de ce qui est considéré comme des limitations de cette discipline, l'impossibilité de se passer du sens aurait dû être l'occasion d'une refonte conceptuelle globale, mais il n'en a (presque) rien été.

Pour la biologie, l'idée du « programme génétique » correspondait si bien à ce mode de pensée dominant qu'elle arrive à persister, malgré les dénégations de ceux-là même qui l'utilisent en dépit de l'accumulation de données expérimentales qui l'invalident.

Les OGM sont nés de ce mode de pensée. Plus personne ou presque ne croit au dogme « *un gène, une protéine, une fonction* », fondateur de la transgénèse, mais la pratique se poursuit néanmoins, au point qu'on rende, pour que cela fonctionne, les transgènes conformes à la théorie caduque qui les a engendrés : on les dote d'un promoteur fort ; les introns, sources de variabilité contextuelle, sont retirés ; le « codage » est optimisé pour le receveur... La biologie de synthèse pousse encore plus loin le dogme du programme (ensemble d'instructions non ambiguës), quitte à rompre avec la linéarité traditionnelle en utilisant des modèles très sophistiqués, en essayant de créer une vie artificielle conforme à l'essence de la regrettée théorie : « *la faculté de concevoir un système biologique qui se comporte de manière prédictible et marche mieux que son correspondant naturel est le rêve des biologistes de synthèse* »⁴⁸. La nature étant difficile à comprendre, fabriquons une nature conforme à notre mode de pensée. L'entreprise évoque irrésistiblement ceux qui, au début du XX^e siècle, voulaient un langage dépourvu d'ambiguïté, de redondances et d'implicite, pour finir

48 Jing Liang, Yuzi Luo & Huimin Zhao (2011) « *Synthetic biology : putting synthesis into biology* » Wiley Interdiscip Rev Syst Biol Med 3(1) : 7-20. doi:10.1002/wsbm.104.

par conclure qu'il est en ordre tel qu'il est. Mais ceci est une autre histoire, encore que...

Si on considère l'évolution du monde comme une suite d'états, si chaque état est aléatoire, alors, il n'y a rien, rien d'organisé ni de repérable. Le fait qu'un état prenne naissance à partir du précédent et est donc en lien avec lui représente une fantastique restriction du possible par rapport à un tirage au sort non restreint⁴⁹. Le marcheur aléatoire⁵⁰ n'explore pas l'espace comme des positions tirées au sort. Certes, il peut aller à chaque pas n'importe où, mais, déjà, il part du point précédent. De plus, alors qu'il a tendance à tourner autour de son point de départ, qui joue comme un attracteur, si le temps est suffisamment long, des séries rares d'événements (marche dans à peu près la même direction pendant un nombre improbable de pas) se produiront. La rareté du phénomène fait qu'il structure l'espace-temps. Alors que le marcheur tournait autour de son point de départ A, il tourne maintenant autour du point B, arrivée de cette suite improbable de pas dans la même direction (structuration spatiale). Il tourne aussi autour du point A, dans une temporalité d'un tout autre ordre de grandeur (structuration temporelle).

La marche aléatoire de Pearson-Rayleigh est dite an-historique car le « choix » de la direction prise est indépendant de ceux pris par le passé. Néanmoins, cette marche est historique, car le point de départ de chaque pas est imposé par l'histoire de la marche. Ceci distingue le graphe de ces pas de celui obtenu par un tirage au sort non restreint autrement que par l'espace limitant le tirage car celui-ci sera rapidement d'un grisé tendant vers l'uniforme. Nous avons là un exemple des plus simples de l'historicité et de l'effet structurant des restrictions et des séries repérables rares.

Les systèmes vivants peuvent être considérés comme constitués d'éléments connectés entre eux, pas tous avec tous, mais tous avec d'autres. On remarquera d'emblée qu'il est difficile de dire ce qu'est un élément pertinent d'un réseau naturel. Le discontinu des niveaux d'organisation s'impose, mais aussi leur intrication (franchissement des niveaux, dépendance des perspectives), leur « enchevêtrement » pour reprendre le terme de Hofstadter⁵¹.

Qui dit discontinu dit restrictions. Plutôt que de concevoir des objets « positifs » issus de « mécanismes » téléologiques, on peut concevoir des systèmes auto-organisés conduisant à des objets « négatifs », c'est à dire contraints par des restrictions à l'intérieur desquelles l'aléatoire s'exprime. Quelque chose n'est pas « quelque chose » (que le langage est chargé par son histoire!) mais « pas autre chose » et, encore une fois, pas autre chose pour laquelle une confusion s'avèrerait non satisfaisante pour la source de sens délocalisée. Au sein de ces restrictions, d'autres restrictions viendront encore limiter cet aléatoire, mais pas comme des ensembles qui en contiennent d'autres. Plus qu'un hasard considéré comme du « bruit », c'est à dire comme un certain brouillage d'une organisation ou d'un message qui existe sans lui, le hasard est essentiellement constitutif de l'organisation, des formes, du sens, créant lui-même, de par la finitude du monde, des restrictions à sa propre expression.

Les êtres vivants ne se reproduisent pas, ils prolifèrent dans des couloirs les contraignant à ne pas être autre-chose-pour-nous, avec toutes les variations autorisées par les autres contraintes. Le rare franchissement des contraintes doit parfois permettre l'émergence du nouveau (une autre manière peut-être de voir les bifurcations des physiciens des systèmes dissipatifs). Ces restrictions, constituées par les interactions systémiques, varient avec ces dernières, permettant une adaptation à l'évolution du système sans qu'il soit nécessaire de spécifier de nouvelles « lignes de programme »⁵².

La dynamique des systèmes connectivistes, la complexité, l'auto-organisation, l'organisation par le « bruit » ou, mieux, le hasard organisateur, la physique des systèmes dissipatifs, les mathématiques des fractales, le hasard en biologie etc., sont des thèmes en plein développement débouchant sur des conceptions nouvelles très précieuses sur l'évolution nécessaire de la conception des systèmes naturels.

En biologie, de nombreux travaux récents imposent le remplacement des relations causalistes linéaires par des dynamiques connectivistes dans lesquelles la causalité s'estompe. Même ce qui a constitué le modèle instructiviste par excellence, le génome, n'est plus le « chef d'orchestre de la cellule » et des travaux comme ceux du programme ENCODE montrent la nécessité de le considérer comme un système connectiviste ouvert. De nombreux travaux attestent maintenant clairement du caractère aléatoire de l'activation des « gènes » (terme qui a considérablement perdu de sa précision au fur et à mesure de son enrichissement⁵³). Dans l'introduction d'un ouvrage de synthèse⁵⁴, les auteurs

49 Il y a de toute façon des restrictions : on tire au sort quelque chose dans un espace donné.

50 Karl Pearson (1905) « *The problem of the random walk* » Nature 72:294 et 342. Réponse par Lord Rayleigh dans le même numéro de Nature p.318.

51 Douglas Hofstadter (1985 pour la traduction) « Gödel, Escher et Bach » Interéditions.

52 Voir à ce sujet : Shay Stern, Tali Dror, Elad Stolovicki, Naama Brenner & Erez Braun (2007) « *Genome-wide transcriptional plasticity underlies cellular adaptation to novel change* » Molecular Systems Biology 3:106 ; doi:10.1038/msb4100147.

53 Voir à ce sujet : Evelyne Fox Keller (2003 pour la traduction française) « *Le siècle du gène* » NRF Galimard.

54 Jean-Jacques Kupiec, Olivier Gandrillon, Michel Morange & Marc Silbertein (dir) (2011) « *Le hasard au cœur de la cellule* » Editions MatièreLogiques (matiereLogiques.com).

soulignent : « Une connaissance d'arrière-plan considérée comme intangible était, entre autres, que l'ordre ne peut venir que de l'ordre, que le profil d'expression d'un gène donné dans un milieu donné réputé homogène était unique, etc. » et aussi : « depuis quelques années, l'accumulation des données, conjointement aux défaillances de plus en plus évidentes de la théorie du programme [...] conduisent indiscutablement à introduire une nouvelle conception du vivant, dans laquelle l'aléatoire n'est plus conçu comme du bruit mais comme un facteur intrinsèque et déterminant ».

Dans l'idée d'un programme, il faut un antécédent intentionnel : un programmeur (ou plutôt un analyste) ou, à l'échelle naturelle, un Grand Organisateur, qu'il s'agisse de la Théière Cosmique de Bertrand Russell ou de la Licorne Rose Invisible (que ses sabots ne soient jamais ferrés !)⁵⁵. Au niveau cellulaire : « En faisant reposer la différenciation cellulaire sur un programme, les spécialistes de la question expliquaient la création de l'ordre... par l'ordre. Si des cellules devenaient différentes parce qu'elles recevaient un signal pour le devenir, alors, il fallait intellectuellement convenir que la cellule émettrice est différente de la cellule réceptrice, puisqu'elle possède la capacité d'émettre ce signal que la seconde n'a pas. Donc, les deux sont différentes. Mais, justement, la différence, c'est précisément ce que l'on cherche à démontrer »⁵⁶. Problème classique de l'oeuf et de la poule, qui ne vaut que dans une vision linéaire causaliste⁵⁷.

On va donc avoir une sorte de loi d'action de masse entre la stochasticité qui permet la plasticité et l'adaptation nécessaires eu égard à l'évolution de la biogée⁵⁸ et les restrictions issues des interactions au sein de ce même ensemble, qui en assurent la cohérence. Intuitivement, cela veut dire que trop de hasard ou pas assez, ou, ce qui revient au même, trop de contraintes ou pas assez, ne permettent pas une dynamique auto-organisée et ceci, en moyenne, car, localement, il peut y avoir une réduction drastique de l'aléatoire qui rejoint le déterminisme, de même que l'inverse.

Cette zone de possibilité de la vie est essentielle dans l'idée de l'évaluation globale. En effet, on ne peut en rester à une vision qualitative et la quantité de hasard ou de restriction introduite dans l'organisation d'un système est un élément pertinent à prendre en compte dans une évaluation globale. Il nous faut donc nous y attarder quelque peu.

Matière – énergie – information – hasard

Gérard Weisbuch a écrit un petit livre remarquablement didactique sur les réseaux d'automates⁵⁹. Il y présente un minuscule réseau, fait de cinq automates, c'est à dire de cinq objets (une case-mémoire d'ordinateur par exemple) pouvant prendre deux valeurs, par exemple zéro ou un. Chaque automate reçoit deux informations en provenance de deux autres et il lui est attribué une fonction logique qui décide de sa valeur (celle de l'automate) en fonction des valeurs des deux automates qui lui sont liés. Ainsi, pour un automate doté de la fonction logique ET, si les valeurs des automates liés sont respectivement zéro et un, l'automate receveur vaudra zéro (avec vrai = un et faux = zéro).

Le nombre d'états possibles de ce micro-système est de 2^5 soit 32 et tous sont réalisables effectivement lorsqu'on fait « tourner » le système (toutes les valeurs des automates sont calculées, puis le nouvel état est calculé à son tour à partir des valeurs des automates etc.) Il n'y a donc aucune restriction sur les états réalisables. Par contre, chaque état est totalement déterminé par l'ensemble des valeurs des cinq automates et de leurs fonctions logiques (ET, OU exclusif, EQUIVALENT).

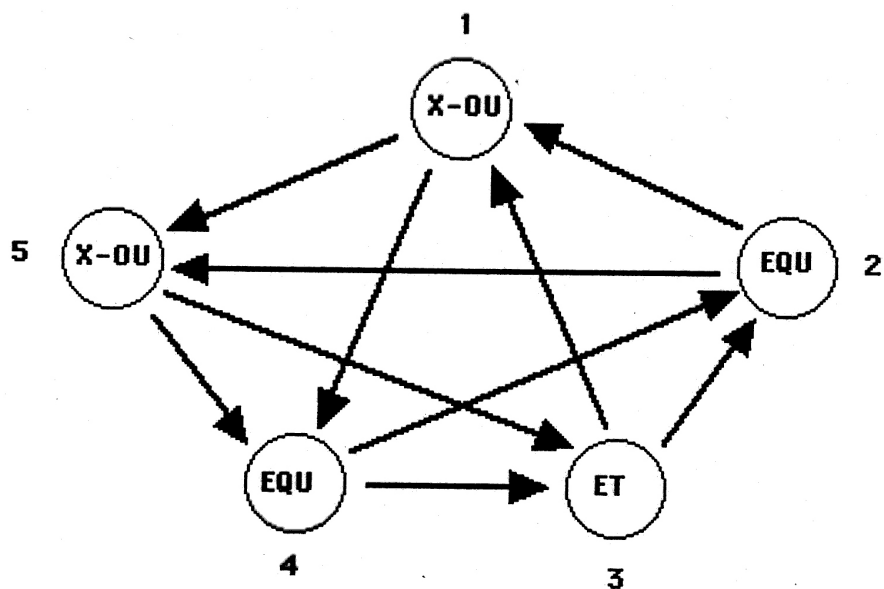
55 D'autres possibilités existent peut être.

56 Thomas Heams (2011) « Expression stochastique des gènes et différenciation cellulaire » in « Le hasard au cœur de la cellule » op cit.

57 Voir aussi à ce sujet : Jean-Jacques Kupiec et Pierre Sonigo (2000) « Ni Dieu ni gène » Le Seuil, qu'il faudrait, ici, citer en totalité.

58 Voir par exemple : Vahid Shahrezaei & Peter S. Swain (2008) « The stochastic nature of biochemical networks » Current Opinion in Biotechnology 19:369-374. doi 10.1016/j.copbio.2008.06.011 et William Blake et al. (2006) « Phenotypic consequences of promoter-mediated transcriptional noise » Molecular Cell 24:853-865 doi : 10.1016/j.molcel.2006.11.003.

59 Gérard Weisbuch (1989) « Dynamique des systèmes complexes » Editions du CNRS.



X-OU	0	1
0	0	1
1	1	0

EQU	0	1
0	1	0
1	0	1

ET	0	1
0	0	0
1	0	1

Dans la configuration inventée par Weisbuch, son petit réseau d'automates évolue selon quatre attracteurs (ce qui est le maximum pour cinq éléments). L'un est un attracteur fixe : à l'état n°3 succède indéfiniment l'état n°3, un autre est un peu différent puisque de l'état 28 il passe à 8, qui se répète ensuite indéfiniment. Les deux autres attracteurs (bassins d'attraction en fait) sont plus compliqués, car à partir de suites d'états assez longues, on tombe dans un cycle (l'attracteur proprement dit) et les états du système tournent ainsi indéfiniment.

chose est vite ennuyeux. Si, à ce système, nous rajoutons un peu d'aléatoire (un peu de bruit), alors, la succession des états ne se fige plus dans un équilibre stable, ponctuel ou cyclique, mais évolue sans cesse, passant d'un bassin d'attracteur à un autre, sans détruire pour autant le début d'organisation qui a été généré par la restriction dans les possibilités de transformations des automates. On pourrait presque dire, de façon imagée, qu'un peu de vie apparaît. Par contre, si cette dose d'aléatoire est trop forte, toute structure disparaît, plus rien n'est reconnaissable ni prédictible.

Imaginons maintenant qu'une mouche se pose sur la main d'une personne et que, gênée et peu soucieuse de la préservation de la vie animale, cette personne l'écrase d'un geste vif. A l'instant même, tous les composants du système-mouche sont toujours présents. Par contre, l'organisation de ce système-mouche a été détruite (ou passablement endommagée). Cette organisation a été détruite par une introduction massive de hasard dans le système organisé « mouche ».

La mouche vivante, pourtant, a besoin d'aléatoire, du fait que l'aléatoire est au cœur de la cellule, pour reprendre le titre de l'ouvrage cité plus haut, mais aussi au cœur de tous les niveaux d'organisation des êtres vivants et peut être aussi pour que des dynamiques très contraintes ne se figent dans des trajectoires trop pauvres. Nous retrouvons ici, un peu sous une autre forme, l'idée de hasard essentiel, défendue par les biologistes cités plus haut et actuellement beaucoup d'autres.

Notre mouche a besoin de hasard, mais pas trop. Nous pensons qu'un système vivant se situe dans une « zone vitale » comportant assez de restrictions mais pas trop et assez de hasard mais pas trop et ceci à tous les niveaux d'organisation.

On considère qu'un système vivant est constitué de matière, d'énergie et d'information. Nous pensons qu'il est aussi fait de hasard et que si l'on considère les flux de matière, d'énergie et d'information dans un réseau d'interactions, il faut aussi considérer les flux de hasard et un effort devrait être fait pour formaliser cette notion qui, bien sûr, est très floue telle qu'introduite. De même que les systèmes vivants sont ouverts aux flux d'énergie, ils seraient ouverts aux flux de hasard (historicisé).

Quoi qu'il en soit, nous retiendrons que, comme prendre un gramme sur la tête et prendre une tonne sur la tête n'est pas la même chose en plus important, mais qu'on mobilise de nouvelles relations, faisant qu'il s'agit aussi d'un changement qualitatif, introduire un peu de hasard ou beaucoup de hasard dans un système organisé représente aussi une différence qualitative⁶⁰.

Dans l'évaluation globale de nos actes, il est essentiel de chercher, sinon encore à mesurer, du moins à apprécier, la quantité d'aléatoire introduite dans les systèmes organisés avec lesquels nous interférons (ceci sans nous préoccuper de connaître les modalités de réponses du système impacté). La question est d'importance, et même d'une importance capitale. Nous avons dit que les altérations de la biogée actuellement constatées, notamment par la science, étaient liées au développement de la techno-science (et re-précisons avec force que ce constat n'est pas une mise en accusation). Nous élargirons plus tard ce constat, mais, pour l'instant, tentons de débroussailler ce thème, car cela concerne l'évaluation globale de manière intime.

La techno-science produit des vérités, au sens, ici, de déclaration ou d'acceptation de validité, pour le corpus techno-scientifique, de propositions, hypothèses, notions, techniques. Nous n'avons pas besoin, pour l'instant, d'entrer dans les très importants développements philosophiques sur la vérité scientifique. Ce qui nous intéresse présentement, c'est qu'en aucun cas la capacité de l'être humain à rester compatible avec la biogée n'intervient dans l'établissement de ces vérités. C'est tellement évident qu'une telle affirmation, pourtant capitale, prête à sourire. En d'autres termes, l'organisation de la biogée telle qu'elle est permissive de la vie humaine est indépendante de l'établissement des vérités scientifiques telles que décrites. Ces vérités étant construites indépendamment de l'organisation de la biogée, elles sont aléatoires par rapport à elle. Comme il existe probablement des liens cryptiques, disons qu'elle sont en très grande partie aléatoires par rapport à elle. Il s'en suit que lorsque nous utilisons la techno-science pour agir sur la biogée, nous introduisons du hasard dans ce système organisé-biogée comme nous l'avons fait pour le système organisé-mouche (avec tout de même moins de violence, mais beaucoup plus de conséquences).

60 À un autre niveau d'organisation, pour prendre un exemple qui touche les biotechnologies : soit un virus, pathogène pour une population, en « équilibre » avec l'immunité présente dans cette population. Imaginons que des mutations rendant le virus capable d'échapper à cette immunité apparaissent tous les millions d'années en moyenne. Tous les millions d'années en moyenne, il y aura une épidémie dévastatrice. Si les conditions sont telles (concentration du réservoir de virus dans des élevages industriels par exemple) qu'on multiplie par un million la probabilité de mutations, l'événement catastrophique se produira tous les ans. On ne peut dire « *ce virus a toujours muté, rien de neuf sous le soleil* ». Il est évidemment nécessaire de tenir compte du quantitatif, même lorsqu'il n'est pas mesurable. De même, faire muter artificiellement des plantes à un rythme sans commune mesure avec ce qui se passe dans la nature ne peut être assimilé au processus naturel. Faire quelque chose des milliers de fois plus, c'est faire autre chose.

Un peu de hasard, comme l'être humain (et pas que lui) l'a toujours fait, ce n'est pas a priori inquiétant, car les systèmes complexes connectivistes sont très résilients et un peu de hasard n'est pas négatif. Beaucoup de hasard, par contre risque de désorganiser le système complexe qui nous héberge.

Le philosophe François Meyer⁶¹ a passé sa vie à souligner que l'évolution des techniques, comme celle, d'ailleurs, de la démographie qui lui est liée et en est un témoin mesurable⁶², se comporte comme une exponentielle ou une sur-exponentielle⁶³.

Ce type d'évolutivité a de très nombreuses conséquences, que nous ne pouvons développer ici. L'une d'elle est que, comme nous avons vécu depuis des dizaines de milliers d'années dans un univers relativement peu évolutif et que nous avons construit notre culture majoritairement dans cet univers-là, une idée implicite et vissée dans nos crânes est que demain ne diffèrera pas beaucoup d'aujourd'hui et que ce qui était valable hier le sera demain (validation par référence à la coutume : « on l'a toujours fait, donc, on peut continuer », argument constamment invoqué à propos des nouvelles technologies, qui sont toujours radicalement nouvelles en vue de l'obtention de financements et parfaitement conformes à ce qui s'est toujours fait en vue de leur acceptation).

Lorsqu'on arrive à la partie quasi-verticale de la courbe, demain ne ressemble plus vraiment à hier et la coutume ne peut plus fournir d'arguments de validation.

Nous avons toujours, bien sûr, même avant la techno-science, introduit de l'aléatoire dans la biogée, mais la capacité technique à le faire a tellement changée qu'on ne peut plus tabler sur son caractère anodin.

Nous ne pouvons mesurer ce type d'effet global. Nous pouvons néanmoins disposer d'éléments d'appréciation. L'évolutivité des moyens techniques en est manifestement à la partie quasi-verticale de la courbe. D'autre part, nous constatons que notre impact sur la biogée est tel que la perspective d'une sixième extinction massive des espèces est fortement évoquée⁶⁴ et que de très nombreuses personnes informées s'inquiètent de notre possibilité de survie pour des temps plus ou moins proches. On peut en discuter, pas du fait que notre impact soit massif⁶⁵. L'idée selon laquelle il faudrait toujours plus de techno-science sous la forme actuelle n'est plus recevable. Il ne s'agit pas d'un bon ou mauvais usage de la techno-science, mais bien d'un caractère qui lui est intrinsèque et qui s'exprime maintenant, du fait de sa croissance exponentielle ou sur-exponentielle.

La question de la vérité, même énoncée simplement comme nous l'avons fait, sous-tend l'évaluation globale. Il sera nécessaire, avec le monde académique, scientifiques et philosophes notamment, d'aborder cette question sous l'angle de l'évaluation globale, qui est un angle nouveau.

Pour nous, la dissociation de l'établissement de la vérité techno-scientifique d'avec l'objectif éthique fondamental qui est au minimum d'assurer la persistance de l'espèce humaine sur terre doit être corrigée. Dans cette optique, la seule vérité, même améliorée, ne suffit pas et il conviendrait de la compléter. À titre provisoire et d'introduction, nous pensons que la notion de pertinence doit y être liée. Quelque chose peut être vrai et non pertinent, un exemple repris dans d'anciens travaux du GIET va nous permettre de mieux le comprendre :

Admettons, sans discussion, que la science est capable de rendre compte du caractère généreux ou égoïste de l'individu, en déterminant l'ensemble des composants et réactions moléculaires allant, disons, d'un gène, jusqu'à l'expression du caractère considéré et admettons que la science a effectivement produit un tel résultat. La question se trouve alors parfaitement traitée, par une explication rendant compte des faits, dans les termes pertinents pour la culture moderne. Mais, ce faisant, on a totalement dénaturé ce caractère de générosité, qui, bien que porté par une base moléculaire (selon l'hypothèse acceptée comme vraie) n'est nullement constitué dans ces termes-là. La générosité a un sens social, émergeant des relations humaines et structurant ces relations. Elle entraîne un jugement de valeur sur la

61 Meyer, F. (1947) L'accélération évolutive – Librairie des sciences et des arts.

Meyer, F. (1954) Problématique de l'évolution – PUF.

Meyer, F. (1974) La surchauffe de la croissance, essai sur la dynamique de l'évolution – Fayard.

62 Voir « Éthique générale et évaluation des technologies nouvelles », joint.

63 Dans le cas d'une exponentielle, le taux de croissance est constant. On a appelé « sur-exponentielles » les courbes qui décrivent des phénomènes dont le taux de croissance est lui-même croissant.

64 En ne considérant que le taux d'extinction actuel, sans autres facteurs, il semble raisonnable de penser que cette extinction de masse n'est pas irréversiblement enclenchée, mais qu'elle reste une possibilité crédible si un changement rapide et profond ne survient pas. Voir par exemple Anthony D. Barnosky et al. (2011) « *Has the earth's sixth mass extinction already arrived ?* » Nature 471:51-57. doi:10.1038/nature09678.

65 On pourra lire à ce sujet le très bel et très synthétique article de Jacques Blondel (2005) « *La biodiversité sur la flèche du temps* ». Natures, Science, Sociétés 13, 296-301 ainsi que sa contribution à « *Éthique générale et évaluation des technologies nouvelles* », joint.

personne dans le cadre de ces relations et ce jugement est essentiel à la dynamique sociale. C'est ce sens-là dont la science se saisit. Le support moléculaire, même **vrai**, n'est en rien **pertinent** en ce cas et la réduction aux termes satisfaisant la science et la culture dominante réalise, d'une part une adaptation de l'objet aux techniques disponibles pour la science et d'autre part une dénaturation, ou transnaturation de l'objet, l'explication déterministe vidant la générosité de toute fonction sociale, basée sur le jugement de valeur et la responsabilité du comportement.

Cet exemple a été choisi pour être facilement parlant, mais il vaut en fait pour tout objet, car une discipline, quelle qu'elle soit (mais plus ou moins), façonne les objets puisés dans le monde commun de manière à les adapter à ses concepts et ses techniques. Le monde selon la science n'est pas le même selon les époques et les instruments dont elle dispose. Nous avons déjà vu que l'évaluation globale se doit d'examiner la formation et la caractérisation des objets du domaine évalué. L'adaptation des objets aux techniques et idéologies d'une discipline croise ici cette préoccupation. Un exemple, encore une fois tiré d'anciennes productions du GIET, va nous permettre d'évoquer la notion d'auto-amplification de l'auto-satisfaction, phénomène très important aussi à prendre en compte dans l'évaluation globale, puisqu'il constitue une composante du jugement de valeur sur les résultats obtenus et donc de l'évaluation.

*« imaginons un forestier. Pour lui, une forêt est une culture de planches. Au moins pendant un temps, n'ayant pas à se préoccuper de quoi que ce soit d'autre que de l'aspect production (en négligeant la biodiversité notamment), notre forestier va produire des planches de manière très efficace. Il va donc répondre correctement à son intentionnalité, montrant ainsi qu'il a raison. Sa manière de construire l'objet « forêt » est donc confortée, surtout si la société dans laquelle il se trouve valorise principalement la productivité. C'est ce que le GIET a appelé l'auto-amplification de l'auto-satisfaction. La satisfaction de l'intentionnalité entraînant la validation des modalités d'obtention de cette satisfaction. Dans ces conditions, et dans le contexte aussi d'une validation sociale et culturelle, celui qui procède autrement a tort. C'est ce processus, très important dans l'évolution de la culture occidentale au moins, qui a l'impérialisme comme conséquence inévitable. Dès qu'un avantage, militaire, économique, culturel, est pris sur les autres, la référence culturelle est celle du dominant, avec son intentionnalité. Les pratiques du dominant étant en adéquation optimale pour l'époque correspondante avec son intentionnalité, le dominant a manifestement raison (il est la référence) sur le dominé. L'impérialisme se produit aussi dans une même culture, à l'égard de ceux qui s'écarteraient du modèle dominant et tend à les éliminer (autre niveau de l'auto-amplification). Cette co-adaptation des objets et du paradigme dominant concerne évidemment la techno-science, l'auto-amplification de l'auto-satisfaction y étant particulièrement frappante, déterminant au niveau de la culture ce qui **doit être pertinent** ».*

Il est donc temps maintenant que nous avons, par petites touches, mis un peu en place le statut du sujet dans le domaine scientifique par rapport au réel, d'élargir cette perspective, comme nous l'avons annoncé.

Nous considérons la biogée comme un système complexe auto-organisé, connectiviste (malgré la difficulté déjà énoncée à déterminer la notion d'élément pertinent). Ce système évolue, et on peut considérer qu'il évolue sans but à atteindre, sans intention, pas même celle de perdurer. Lorsqu'une nouveauté émerge au sein de ce système, c'est que l'ensemble des contraintes représentées par le système existant le permet et que les potentialités d'émergences existent aussi à ce moment. Il y a donc une sorte de compatibilité, de cohérence, avec la totalité du système, qui « va avec » la nouveauté émergente.

Il n'y a pas de raison pour supposer que cette cohérence « de principe » nous soit a priori favorable, ni favorable à une quelconque option que nous pourrions prendre sur le devenir de la biogée, qui n'a rien à faire, rien à réussir. Néanmoins, dans cette auto-organisation, pour qu'un système fonctionne et se maintienne, il faut une cohérence interne, issue de la série passée de restrictions traduisant et permettant cette organisation.

Cette notion de cohérence est évidemment difficile à préciser. Elle englobe probablement des nombres et répartitions de connexions, mais aussi des qualités de ces connexions. L'usage de systèmes connectivistes artificiels (« modèles » informatiques) dédiés à ce type d'approche devrait pouvoir aider à préciser cette notion fondamentale⁶⁶.

Un élément émergeant va être compatible dans son existence avec tous les éléments qui vont former son univers, et ce à tous les niveaux d'organisation, mais de manière différenciée. Négliger l'historicité des êtres vivants comme ce que fait la vision occidentale mène à induire des incohérences, ce qui nous permet d'approcher un peu mieux cette notion. Si on prend un être vivant dans un écosystème pour le placer dans un écosystème étranger (ce qui revient à déclarer implicitement non pertinente l'historicité de cet objet), dans un bon nombre de cas, il s'avère inapte à vivre dans ce nouveau contexte, ou bien il peut devenir envahissant, étant insuffisamment cohérent avec ce sous-système au sein duquel il n'a pas émergé.

Nous avons évoqué le nombre colossal de possibles, même pour de tous petits systèmes. Les fantastiques restrictions imposées par la co-existence des éléments qui émergent au cours de l'histoire du système permettent son

66 Un exemple de ces généralités est fourni par Albert-Laszlo Barabasi (2002) « *Linked – The new science of network* » Perseus Publishing.

organisation et sa cohérence. A chaque « bifurcation » (événement rare, puisque signifiant), le hasard emprunte l'une des innombrables voies possibles et cohérentes avec l'état précédent. Ce nouvel état, qui aurait pu être tout autre, réalise de nouvelles restrictions et de nouvelles permissivités qui n'étaient pas nécessaires avant la bifurcation (elles ne s'imposaient pas). Comme elles vont modeler le système dans son évolution, il faut, dans cette optique, considérer que les objets du système et leurs relations sont historiques au sens où cette historicité est un caractère épistémique au même titre que la couleur, le poids etc. En cela, cette notion d'historicité diffère de celle d'histoire, cette dernière ne faisant que décrire la trajectoire temporelle sans caractériser l'objet dans son existence même.

D'autres approches existent de cette notion, elle sera abordée dans le colloque sur l'Évaluation Globale par Maël Montevil et Giuseppe Longo. D'autres apport ultérieurs sont attendus de la part de Léo Coutellec et d'Alain Le Méhauté. Quoiqu'il en soit, cette historicité ne peut être ignorée ni négligée.

Intentionnalité

Henri Atlan insistait sur l'impossibilité physique pour l'évolution de procéder à des essais explorant la totalité du possible. Une accumulation historique et cohérente du fait de l'auto-organisation permet d'entrevoir la possibilité de rendre compte de l'évolution du vivant et de la biogée. L'intentionnalité place par contre l'être humain dans une situation particulière par rapport à l'évolution. Alors que cette dernière résulte de l'auto-organisation globale et ne vise rien, l'être humain se fixe des objectifs à atteindre et adapte son environnement à ses objectifs. Il lui est bien évidemment impossible d'envisager l'ensemble des connexions que peuvent avoir les objets intentionnellement produits ou modifiés, qui n'ont pas cette « cohérence native » des objets naturels, ou, en tout cas, ne l'ont pas au même degré. Ces activités intentionnelles entraînent donc, si on nous suit, une désorganisation des systèmes concernés, dont éventuellement la biogée.

Certes, l'intentionnalité n'est pas l'apanage exclusif de l'être humain. Certes, ce dernier est tellement essentiellement intentionnel (nous avons vu en partie le rôle de l'intentionnalité dans la possibilité même du langage explicite) qu'il serait totalement hors de question de vouloir qu'il ne soit plus intentionnel. Mais les systèmes complexes connectivistes sont très résilients. Une bonne quantité d'incohérence, de hasard, introduite par le caractère largement intentionnel de nos productions, ne devrait pas être capable de changer l'organisation de la biogée. La techno-science moderne a, par contre, tellement démultiplié la puissance des impacts sur la nature que la question des limites se pose et ne peut être éludée. Le constat des désordres engendrés constitue une évaluation de ces limites.

Chapitre 3

Conclusion et axes d'abordage

« La communauté scientifique a été assez efficace pour alerter la société au sujet d'enjeux tels que la perte de la biodiversité ou le changement climatique, mais nous savons que le simple fait de décrire scientifiquement une situation environnementale ne change pas nécessairement le comportement humain et qu'on ne peut tabler sur la rationalité de ce comportement ».

Paul Ehrlich

Nous espérons avoir fait apparaître la nécessité de procéder à une évaluation globale des nouvelles technologies, évaluation qui, logiquement, aurait dû précéder celle, analytique, au cas par cas. Nous espérons aussi que l'urgence qu'il y a à mettre en chantier une telle évaluation aura été suffisamment traduite. Assumant cela, il reste... seulement (!) à, d'une part, engager le monde académique aux côtés de la société civile dans un travail synergique et, d'autre part, engager le monde de la décision politique (politiques et administratifs) dans ce processus. L'enjeu n'est pas tant académique que politique, dans toute la profondeur du terme. La première étape était d'introduire cette nécessité dans les milieux sus-cités. Cette étape correspond à notre réponse à l'appel à projets et à ce présent travail, incluant ses extensions (travail sur l'éthique générale, colloques passés et à venir). La seconde est de proposer des voies d'exploration susceptibles d'enrichir, préciser et concrétiser le concept d'Évaluation Globale.

Premier axe : explorer la notion d'organisation

La première voie est celle introduite ci-avant. Elle pose le problème dans des termes qui nécessitent une refonte des catégories concernées. Ce travail a déjà été initié de manière indépendante par nos partenaires de l'INSA de Lyon (Anne-Françoise Schmid et Léo Coutellec), il devra être repris dans l'optique particulière de l'évaluation globale.

Le premier point qui a été abordé a été celui, essentiel à nos yeux, du contexte culturel dans lequel naît l'ensemble de ce qui nous concerne, depuis les termes de la réflexion jusqu'aux décisions ou orientations. L'évolution de ce contexte étant le phénomène le plus important du monde moderne et même, selon nous, ce qui peut devenir la plus belle aventure de l'humanité. La mise en place d'un tel processus nécessite des moyens et relève d'une décision politique. L'évolution culturelle, qui, de toute façon est en marche, qu'on l'accompagne ou non, fait que nous ne disposons pas des termes adéquats pour aborder les sujets qui nous préoccupent. Il s'agit, comme nous l'avons fait ici, d'offrir une nourriture théorique à la dent du changement, ceci en rupture avec les habitudes issues de la relative stabilité culturelle passée.

Le second thème que nous avons cherché à introduire consiste à dégager des caractères essentiels, les plus primitifs possibles, d'une forme et ensuite d'une organisation systémique de manière à apprécier si les technologies développées interfèrent avec eux. Nous avons insisté sur deux aspects extrêmement primitifs et profonds : la restriction dans le possible réalisable et l'historicité des objets et des liens qui mènent aussi à la notion paradoxale en apparence de hasard historicisé.

Dans le domaine des biotechnologies, on voit que le développement des OGM ou d'autres objets issus de manipulations génétiques implique de postuler, explicitement ou implicitement, que la transgression des restrictions naturelles historiquement mise en place dans le transfert de séquences d'ADN est sans importance et est même « bon a priori ». Il implique de postuler également la non-pertinence de l'historicité de ces séquences.

Même si cela correspond à la croyance de certains experts, on ne voit pas comment ils pourraient l'imposer au monde entier, alors même que ce monde est concerné par les conséquences d'une telle idéologie. Un approfondissement de ces questions est évidemment nécessaire avant toute poursuite éventuelle de ces développements biotechnologiques.

Cette méthode d'abord de l'évaluation globale qui, on l'a vu, n'est pas limitée aux deux caractères soulignés à l'instant, peut trouver de la matière dans les travaux de ceux qui s'intéressent aux dynamiques des systèmes complexes, moins dans le but de modéliser au sens fort du terme (encore que) que dans celui d'établir des règles générales de fonctionnement de tels systèmes. Cela introduit notre second axe pour l'évaluation globale :

Second axe : utiliser des systèmes expérimentables

Expérimenter avec la biogée n'est évidemment pas possible. L'idée est donc de caractériser des propriétés organisationnelles qui ne soient dépendantes ni de l'échelle ni du mode de concrétisation du système complexe connectiviste concerné. Dans ces cas, on doit pouvoir, en orientant les protocoles vers ces questions générales, acquérir des connaissances qui nous sont nécessaires à partir de modèles accessibles à l'expérimentation.

À cette fin, nous avons proposé de travailler sur le système immunitaire et plus précisément sur les répertoires des lymphocytes T. Ce sujet a le grand avantage d'avoir été abordé depuis plusieurs années sous l'angle de la théorie des systèmes complexes par Véronique Thomas-Vaslin, via une approche pluri-disciplinaire impliquant biologistes, physiciens, informaticiens, philosophes et mathématiciens. Des résultats sont déjà disponibles, qui permettent d'envisager des protocoles, d'abord par modélisation sur ordinateur, puis sur des souris de différentes lignées. Le modèle, ses résultats principaux concernant la thématique de l'évaluation globale et quelques unes de ses potentialités, sont présentés ci-après par Véronique Thomas-Vaslin.

Troisième axe : appréciation de l'état d'urgence

Pour rendre des décisions, il est préférable d'avoir la possibilité d'apprécier le degré d'urgence. Là encore, les approches classiques ne permettent pas de répondre à cette demande. Un des caractères des systèmes complexes est en effet la mise en jeu de relations non-linéaires, ce qui entraîne l'imprédictibilité à long terme des trajectoires du système dans l'espace des phases et la sensibilité aux conditions initiales et donc à des perturbations minimales. Ces relations sont donc très différentes de celles auxquelles les connaissances traditionnelles nous avaient habitués, pour lesquelles la réponse est proportionnelle à l'effet (le fameux « *c'est la dose qui fait le poison* » en est un exemple caractéristique).

Une autre propriété de ces systèmes complexes est leur très grande résilience. Cependant, alors que nous sommes habitués à l'idée que, face à une pression croissante, la résilience va céder peu à peu, pour de tels systèmes, il existe souvent des points critiques au-delà desquels le système global « s'effondre ». Plus précisément, au-delà de ces points critiques, le système va changer son organisation et sa trajectoire va évoluer dans un nouveau bassin d'attraction.

Nous disposons à ce sujet, non seulement de nombreux travaux théoriques, mais aussi d'études de systèmes naturels en écologie (beaucoup de travaux, y compris expérimentaux, sur les lacs notamment, effondrements historiques comme celui du Sahara⁶⁷ etc.), médecine⁶⁸, sociologie, histoire...

De nombreuses civilisations se sont effondrées au cours de l'histoire de l'humanité. Certains cas sont célèbres (Mésopotamie, les Mayas, l'empire d'Égypte, l'Empire Romain, le bloc Soviétique...) d'autres moins, mais le sujet trouve bien naturellement un regain d'intérêt actuellement. Tout en reconnaissant la diversité des situations, on cherche plus ou moins explicitement une cause commune à ces désastres⁶⁹. La diminution des ressources nécessaires au maintien d'activités structurantes, l'impact écologique et le coût énergétique lié à la complexité même du système se révèlent être des facteurs majeurs. Néanmoins, c'est dans une optique systémique que ces phénomènes doivent être envisagés, et en considérant qu'actuellement, la civilisation occidentale est mondialisée, ce qui crée une situation totalement inédite.

Tout système en croissance indéfinie et que la croissance structure (c'est à dire un système où la croissance fait intimement partie de son organisation) explose lorsqu'il atteint la phase de croissance quasi-verticale, puisqu'il arrive alors très vite un moment où un tout petit pas de plus amènerait à l'infini ou tout comme. Il est donc, dans notre évaluation globale, essentiel de chercher à savoir où nous en sommes de cette évolution et de notre proximité avec un point critique. La hiérarchie des jugements et les décisions qui en découlent⁷⁰ en dépendent. Un axe de réflexion et de recherches concerne, dans cette optique, l'identification de signes annonciateurs de l'approche de ces fameux points critiques, au-delà desquels l'irréparable est accompli.

67 Le Sahara est passé brutalement, il y a environ 5500 ans ou 4900 ans selon les auteurs, d'un climat subtropical humide avec une végétation luxuriante à ce qu'on connaît aujourd'hui. Voir par exemple : Isla S. Casaneda et al. (2009) « *Wet phases in the Sahara/Sahel region and human migration patterns in North Africa* » PNAS 106(48):20159-20163. doi:10.1073/pnas.0905771106.

68 Un bel exemple est donné dans une publication récente sur l'émergence de la pathologie néo-natale liée à des streptocoques B sélectionnés par les tétracyclines : Violetta Da Cunha et al. (2014) « *Streptococcus agalactiae clones infecting humans were selected and fixed through the extensive use of tetracycline* ». Nature Communications 5:4555. doi:10.1038/ncomms5544.

69 Par exemple : Jared Diamond (2006 pour la traduction française) « *Effondrement – comment les sociétés décident de leur disparition ou de leur survie* » Gallimard. Critiquable, mais contient beaucoup d'informations. Ou : Joseph A. Tainter (2013 pour la traduction française) « *L'effondrement des sociétés complexes* » Le Retour aux Sources. Contient une très importante bibliographie.

70 Nous pensons surtout à des décisions concernant l'organisation de la démocratie réelle, mais aussi à des décisions palliatives.

Un nouveau secteur de recherches s'est développé, théorique, observationnel et expérimental, de la plus haute importance. Il permet de commencer, avec déjà d'importants résultats, à pouvoir prédire l'imminence du passage d'un écosystème d'un état (bassin d'attraction) à un autre⁷¹.

Ces méthodes ne sont pas spécifiques des écosystèmes, mais concernent d'une manière générale les systèmes complexes chaotique, « *des écosystèmes aux marchés financiers et au climat* »⁷². Elles peuvent aussi permettre d'apprécier l'état de santé d'une population animale et de prévoir son extinction⁷³. Certains modèles expérimentaux ont permis de retrouver ces signes avant-coureurs dans des situations expérimentales⁷⁴ où on provoque un changement d'état (de bassin d'attraction) en modifiant le réseau trophique d'un lac en comparaison avec un lac témoin. Dans ces conditions expérimentales, les signes majeurs comme le ralentissement du retour à la normale après perturbation ou l'augmentation de la variance des paramètres perturbés sont retrouvés conformément à la théorie.

Point très important, ces mêmes signes se retrouvent au niveau du stade évolutif actuel de la biosphère⁷⁵. Nous approcherions donc d'un point critique au-delà duquel se produirait un basculement irréversible de l'organisation de la biosphère, vers un autre état... dans lequel notre présence n'est pas assurée, loin de là.

Une spécialiste de ces questions, Sonia Kéfi, n'a pas pu, pour des raisons pratiques, participer au colloque ni se joindre au groupe de réflexion, mais elle devrait y participer à l'avenir.

Quatrième axe : statut de l'évaluation actuelle, propositions pour une évaluation non-standard

Mettre les problèmes évoqués en démocratie réelle nécessite d'examiner le statut social de l'expertise et notamment de son rôle en dehors de celui qui lui est officiellement attribué. Tout comme les normes, l'évaluation est aussi un instrument de pouvoir, un moyen de manipulation des experts et de la société, notamment par les grandes sociétés industrielles et commerciales.

D'une manière générale, une étude approfondie, dépassant la manière dont les choses sont habituellement présentées, doit être faite et permettre de sortir de ce statut quelque peu pervers en proposant un cadre très général d'évaluation non-standard au sein de laquelle l'évaluation globale pourra prendre place.

Pour cet axe, Léo Coutellec (voir sa participation ci-après) et Roland Gori⁷⁶ (qui débutera sa participation effective à notre groupe par sa présentation lors du colloque) vont nous aider à débroussailler ce thème extrêmement complexe.

71 Sonia Kéfi et al. (2014) « *Early warning signals of ecological transitions : methods for spatial patterns* » PlosOne 9:1-13. doi:10.1371/journal.pone.0092097.

72 Marten Scheffer (2009) « *Early warning signals for critical transitions* » Nature 461(3):53-59. doi:10.1038/nature08227.

73 John M. Drake & Blaine D. Griffen (2010) « *Early warning signals of extinction in deteriorating environments* » Nature 467:456-459. doi:10.1038/nature09389.

74 Stephen R. Carpenter et al. (2011) « *Early warnings of regime shifts : a whole-ecosystem experiment* » Science 332:1079-1082. doi:10.1126/science.1203672.

75 Anthony D. Barnosky et al. (2012) « *Approaching a state shift in Earth's biosphere* » Nature 486:52-58. doi:10.1038/nature11018.

76 Alain Abelhauser, Roland Gori et Marie-Jean Sauret (2011) « *La folie évaluation - Les nouvelles fabriques de la servitude* » Mille et une nuits.

Contribution de
Véronique Thomas-Vaslin

**« Contribution à une évaluation globale des
systèmes complexes et des perturbations :
l'exemple du système immunitaire »**

Contribution à une évaluation globale des systèmes complexes et des perturbations: l'exemple du système immunitaire

Véronique Thomas-Vaslin
veronique.thomas-vaslin@upmc.fr

CNRS FRE3632, UPMC INSERM UMRS 959, 83 boulevard de l'Hôpital 75013 Paris

Introduction.....	2
Situation du projet	2
-Feuille de route RNSC.....	2
-Réseau ImmunoComplexiT	2
Le système Immunitaire comme modèle d'étude d'autres systèmes complexes.....	3
De la conception classique réductionniste à une conception alternative globale du système immunitaire	3
Approche des systèmes multi-échelles, non linéaires, dissipatifs et chaotiques	5
Complexité d'un organisme: organisation et interaction avec l'environnement.....	5
Organisme-Système immunitaire-Environnement: identité et intégrité.....	5
Evolution des espèces et rôle du système immunitaire	6
Diversité et dynamique des répertoires lymphocytaires	7
Répertoires	7
Stabilité et variabilité	8
Efficacité du système et énergie	8
Homéostasie et dynamique.....	9
Compétition, diversité et ressources	10
Infections chroniques et déséquilibres	11
Evolution du système immunitaire dynamique adaptatif-Organisation	11
Historicité du système	11
Mémoire.....	12
Structuration d'un système contraint -Emergence	13
Modèle non linéaires, réponses aux perturbations et chaos.....	14
Modélisations et simulations dans le temps et l'espace.....	15
Altération de paramètres du système	16
Déplétion transitoire	16
Distribution stochastique	16
Altération de la migration	16
Vieillessement et désorganisation.....	17
Le vieillissement: perturbation lente	17
Déterminisme, aléatoire, boucle de rétroaction: chao et bifurcations	18
Caractère fractal de l'immunocomplexité : additions et multiplications à des niveaux multi-échelle	18
Modélisation non linéaire et boucles de rétroaction lors de réponse immunitaire.....	18
Rythmes biologiques et attracteurs	19
Système dissipatif et organisation branchée du système immunitaire	19
Conclusions.....	20
Conservation des systèmes vivants et caractéristiques d'une organisation	20
Rupture du micro au macro, du local au global.....	20

Introduction

Afin de contribuer à une évaluation globale des systèmes complexes vivants qui nous environnent et que nous composons, nous proposons de nous appuyer sur l'observation de l'organisation, de l'évolution de la sélection de la diversité et du comportement dynamique d'un système biologique complexe, le système immunitaire.

Comme pour d'autres systèmes évoluant sur différents niveaux d'échelles d'espace et de temps, la diversité des cellules et immuno-récepteurs composant le système immunitaire, provient à l'origine du hasard, et leur sélection par interactions qui assurent l'évolution dynamique permanente, par compétition, des populations lymphocytaires et une immuno-ception de l'environnement moléculaire assurant l'identité et l'intégrité de l'organisme. Il s'agit donc d'une communication permanente entre les éléments composant le système et l'environnement qui le définit et conditionne son évolution. Cet environnement est l'organisme (dont nous verrons la complexité de définition) lui-même mais aussi ce qui l'entoure l'organisme. Si la vision classique et l'approche réductionniste du système perdure, nous proposons une approche alternative basée sur l'évolution des systèmes vivants dissipatifs, dans l'espace /temps et une cognition, en réseau interactif dynamique. Cette cognition et la mémoire immunologique assurent le maintien de l'identité et de l'intégrité de l'organisme qui abrite ce système. Nous verrons que bien que le système apparaisse globalement relativement stable et relativement résilient aux perturbations chez les individus jeunes, il apparaît néanmoins critique et chaotique et susceptible de basculer vers un état d'immuno-déficience en particulier au cours de perturbations ou du vieillissement. L'analogie entre le comportement de ce système microscopique et de systèmes macroscopiques est discutée. Les comportements des systèmes étant indépendants des échelles l'analyse et la conceptualisation de systèmes microscopiques plus facilement observables et mesurables peuvent permettre de réfléchir au comportement de systèmes macroscopiques et à l'implication de perturbations sur ces systèmes et des risques pour leur maintien.

Situation du projet

-Feuille de route RNSC

Nous avons proposé en 2008 dans le cadre du Réseau National des Systèmes Complexes une **feuille de route** "[From molecule to organism](#)" qui a permis de contribuer à un article collectif (Lavelle, Berry et al. 2008), et de poser des objectifs concernant l'évaluation de la variabilité, des fluctuations et du bruit au sein de systèmes multi-échelles.

En 2010, afin d'évaluer le système immunitaire du point de vue de son l'organisation et de son activité j'ai ajouté la section "[complexity of the immune system](#)" qui sert à guider notre projet à travers cinq objectifs (détaillés sur le site), dont en particulier le point 5 qui concerne directement l'étude actuelle.

1. L'identification des populations du système immunitaire
2. L'étude de la dynamique des lymphocytes et la sélection de leurs répertoires : Intégration de données multiparamétriques, multi échelles et modélisation dynamique
3. L'évaluation de la résilience ou des instabilités aux perturbations, pour appréhender les dysfonctionnements immunitaires et améliorer les stratégies d'immuno-intervention.
4. A un méta-niveau, extraire, visualiser organiser les connaissances immunologiques à partir de la littérature scientifique
5. **Contribuer à une évaluation globale des systèmes complexes et des risques**
6. Revisiter le concept de système immunitaire: limites, définition, caractéristiques, fonctions et stabilité

-Réseau ImmunoComplexiT

Ces questions ont permis de fédérer quelques équipes nationales et internationales autour du réseau dont je suis porteur « [ImmunoComplexiT : Understanding the complexity of immune system](#) », labélisé et soutenu par le RNSC. Plusieurs manifestations avec des intervenants du réseau et des membres extérieurs ont eu lieu depuis 2012, permettant de débattre autour de ces divers objectifs.

Le système Immunitaire comme modèle d'étude d'autres systèmes complexes

Un parallèle entre l'organisation et le fonctionnement de systèmes vivants, tel le système immunitaire ou d'autres systèmes évolutifs sociaux, écologiques ou la biogée et leur comportement dans des échelles de temps et l'espace peut être envisagé. Ceci devrait permettre de revoir la conception de ces systèmes et de tenter de comprendre comment ces systèmes sont générés, organisés, restreints, évoluent et vieillissent face aux perturbations subies aux différents niveaux d'échelles. Les propriétés mathématiques et physiques des systèmes complexes traversent les échelles et peuvent donc permettre d'étudier à l'échelle microscopique des propriétés qui affectent également des systèmes macroscopiques ou dont les évaluations qualitatives et quantitatives s'avèrent difficiles. La modélisation et la conception théorique peuvent donc nous aider à analyser globalement les caractéristiques et propriétés des systèmes.

Les réflexions présentées ici s'appuient sur des observations faites en laboratoire sur le système immunitaire en particulier de souris dont on peut contrôler l'environnement, l'origine génétique et l'âge. Les modélisations mathématiques et simulations informatiques réalisées et les hypothèses théoriques sont détaillées dans le chapitre du livre « **le vivant critique et chaotique** » à paraître prochainement qui comporte de nombreuses illustrations explicatives¹

De la conception classique réductionniste à une conception alternative globale du système immunitaire

Dans la conception classique réductionniste, le système immunitaire est encore souvent décrit comme une machine déterministe ayant une fonction de « défense » de l'organisme. Les métaphores de défense et de détection spécifique y sont associées, sur la base de déclenchement de réponses immunitaires innées et adaptatives, avec des lymphocytes spécifiques d'antigènes qui luttent contre des envahisseurs, infections, tumeurs et à la fin de la bataille la plupart meurent, sauf quelques cellules mémoires qui persistent. En cas de 2^{ème} infection ou de vaccination le système sera alors plus efficace grâce à ces cellules mémoire pour « défendre » l'organisme. La métaphore de solutions déterministes et duales comme la théorie de la sélection clonale basée sur la distinction du soi et du non-soi, permet l'élimination du « non soi » (comme des microorganisme ou des cellules infectées) par des lymphocytes capables de préserver le soi (pour éviter les maladies auto-immunes) perdure. Les lymphocytes ont aussi été classés dans un rôle déterministe de cellules auxiliaires, tueuses, ou plus récemment régulatrices. Les cellules « mémoires » ont pour rôle d'assumer la réponse secondaire plus rapide et plus intense.

Cette vision réductionniste est proche de celle de nos sociétés où chaque individu (ou lymphocyte) subit une éducation indépendante dans un contexte social (éducation thymique) conduisant à une sélection (sélection thymique), éliminant les éléments inadaptés ou « considérés dangereux » pour le système mais préservant les « bons » pour remplir une fonction déterminée (immunité cellulaire ou humorale, cellule tueuse, régulatrice ou auxiliaire...) qui pourront à leur tour éliminer spécifiquement les intrus (cellules infectées, tumeurs...), ou participer à une réponse mémoire (vaccination). Ce comportement est basé essentiellement sur la sélection et l'élimination des lymphocytes délétères. Il s'agit, de même, dans les thérapies classiques d'éliminer des populations entières de cellules (chimiothérapie ou radiothérapie détruisant les cellules, immunosuppression généralisée pour le traitement d'autoimmunité, maladies inflammatoires, rejet de greffes etc..) conduisant à des effets secondaires majeurs liés à l'immunodéficience induite par le traitement. La théorie de la sélection clonale basée sur la distinction soi/non soi proposée par Burnet ou la « théorie du danger » proposée ensuite par Matzinger² sont des théories qui reposent sur cette conception duale et aussi l'intentionnalité du système et des cellules. Cette vision se base alors sur un comportement récessif lié essentiellement à la répression locale dans l'espace ou le temps mais non à l'intégration globale et à la régulation en réseau. Altérés, ces systèmes sont peu résistants à de nouvelles perturbations puisque déjà diminués et moins connectés. De plus le vieillissement diminue les capacités de régénération et altère encore plus le système.

1 V Thomas-Vaslin : chapitre à paraître dans le « vivant critique et chaotique » aux éditions matériologiques. <http://www.materiologiques.com/-Collection-Sciences-Philosophie->

2 Matzinger, P. (1994). "Tolerance, Danger and the Extended Family." *Annual Review of Immunology* 12(1): 991-1045.

Une conception alternative en réseau complexe permet de considérer le système immunitaire comme un système biologique complexe dynamique, diversifié, cognitif, fluide, anamnétique et qui a évolué pour s'organiser sur différentes échelles de la molécule à l'organisme (avec une fonctionnalité centrée sur la cellule, elle-même une entité vivante avec une historicité). **L'immuno-céption de l'environnement** est assurée par les récepteurs protéiques à la surface des lymphocytes T et B dont la diversité est acquise au niveau somatique par une **combinaison de hasard et de contraintes** liée à l'environnement qui sélectionne drastiquement ces lymphocytes et assure la restriction des combinaisons possibles. Le système immunitaire est alors considéré comme un réseau auto-organisé et autonome, organisme-centré, se référant à lui-même³. **L'activité autonome interne** du système immunitaire est liée à une **perception dynamique d'un continuum d'antigènes** dans l'environnement cellulaire des lymphocytes (dont les idiotopes eux-mêmes qui sont les parties hypervariables des séquences d'acides aminés des immuno-récepteurs entrant en interaction avec les antigènes). Cette activation naturelle des lymphocytes a lieu même en absence de tout élément infectieux et antigénique 'externe' au système immunitaire (souris axéniques nourries avec des acides aminés). Cette activité physiologique auto-immune nommée à partir du latin « **concinnity** »⁴ désigne l'arrangement, la disposition des parties pour aller bien ensemble. Un réseau idiotypique complexe assurant des interactions avec des boucles de régulations permet alors d'assurer l'intégration et le contrôle de la prolifération et activation des nouveaux clones et leur sélection et face aux changements de l'environnement⁵. Ici il s'agit donc de mécanismes dominants qui régulent globalement l'activité dynamique de l'ensemble du système. **La tolérance** peut alors être expliquée par des **mécanismes régulateurs dominants** qui vont contrôler l'activation et la prolifération des lymphocytes et non plus par la destruction massive des lymphocytes. Des thérapies visant à réguler l'inflammation par des vaccinations impliquant des récepteurs T donc des antigènes du «soi», permettant de reconnecter les lymphocytes en créant une légère auto-immunité pour renforcer les connections du réseau et donc les boucles de régulations sont actuellement étudiées⁶. La mémoire collective peut être expliquée aussi par ces propriétés systémiques et dynamiques plutôt que par la persistance individuelle de cellules quiescentes dédiées à cette action future. Ici encore renforcer la dynamique du réseau ne pourrait que renforcer cette cohésion et mémoire, détruite si on tue de façon transitoire les lymphocytes en division.

Récemment, la «**théorie de la discontinuité**» a été proposée pour expliquer l'activation des cellules face à des changements rapides⁷ et la discontinuité perçue par le système. A la différence des théories précédentes, «distinction soi/non soi» ou «théorie du danger» il n'y a plus de dualité ni d'intentionnalité du système. En considérant ce genre de conception c'est la capacité globale et évolutive, dans le temps et l'espace, du système dans son ensemble qui va percevoir des différences et déterminer le comportement futur du système. La conception et l'analyse de ce système repose alors sur des méthodes se référant aux systèmes complexes, multi-échelle, en réseau dynamique, distribués.

Nous proposons aussi de considérer que le système a une **historicité (qui détermine les conditions initiales et contraintes)**. Ce système se construit durant l'ontogénie, non seulement à partir du code génétique mais de l'historicité contenue dans le zygote, et les contraintes physiques et thermodynamiques du système qui est un **système dissipatif d'énergie**. Dans ces conditions, les interactions du système qui vont se faire dans des combinaisons de hasard et de restrictions liées aux contraintes physiques, génétiques, métaboliques... qui vont déterminer l'organisation du système. La capacité de réaction dans le temps et l'espace (rétention et protention) sera quant à elle déterminée par des restrictions d'énergie, d'intensité et de puissance du système. Finalement comme le système évolue **sur des échelles multiples de temps et d'espaces et sans déterminisme** (pas d'intention) mais répondant à chaque instant et selon l'état de son réseau à la composante du hasard et

³ Coutinho, A., L. Forni, D. Holmberg, F. Ivars and N. Vaz (1984). "From an antigen-centered, clonal perspective of immune responses to an organism-centered, network perspective of autonomous activity in a self-referential immune system." *Immunol Rev* 79: 151-168.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6235170>

⁴ Tauber, A. I. (2014). "Reconceiving autoimmunity: An overview." *J Theor Biol*.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24880023>

⁵ THOMAS-VASLIN, V. (2014). "A complex immunological idiotypic network for maintenance of tolerance." *Frontiers in Immunology* 5: 369.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25132837>

⁶ Cohen, I. R. (2014). "Activation of benign autoimmunity as both tumor and autoimmune disease immunotherapy: A comprehensive review." *J Autoimmun*.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24924121>

⁷ Pradeu, T., S. Jaeger and E. Vivier (2013). "The speed of change: towards a discontinuity theory of immunity? ." *Nature Reviews Immunology*.

<http://www.nature.com/doi/10.1038/nri3521>

de l'environnement antigénique, le système émergent est presque sûrement de type fractal comme nous le verrons.

Le système immunitaire devient alors un système de **cognition global de l'environnement** microscopique antigénique mais également capable de percevoir des effets macroscopiques qualitatifs ou quantitatifs comme les différents stress subits par l'individu (aliments, température, produits chimiques, infections...). Les continues perturbations et des processus liés au vieillissement ne permettent pas d'obtenir un équilibre stable. Une éventuelle rupture de la résilience apparente peut être observée avec l'âge et les perturbations conduisant à une immunodéficience et aux pathologies liées au vieillissement.

Approche des systèmes multi-échelles, non linéaires, dissipatifs et chaotiques

Les observations expérimentales ou les modélisations *in silico* proposées sont souvent réductionnistes et ne peuvent rendre compte de la complexité du système immunitaire ou d'autres systèmes complexes vus sous cet angle. La modélisation se complique en effet si on veut proposer une approche globale concernant un réseau dynamique complexe, avec des milliards d'éléments, d'une diversité de plusieurs millions, organisés à différents niveaux d'échelle de temps et d'espace, en interaction non linéaires et avec des boucles de rétroaction et réagissant à des événements stochastiques dans un environnement contraint. On observe mathématiquement que les dynamiques déterministes non linéaires avec seulement quelques entités confèrent une dynamique chaotique et non prévisible, c'est à dire qu'après un comportement qui paraît au départ régulier avec des oscillations éventuelles, des cycles, il peut exister des phases de transition critiques et des bifurcations non prédictibles du comportement. De plus, la dynamique de tels systèmes dits chaotiques et les trajectoires observées sont très sensibles à des variations infimes (non détectées) des conditions initiales (ici par exemple la génétique, l'historicité...) ou aux perturbations introduites. Dans ces systèmes de types oscillatoires et chaotiques il existe des attracteurs stables ou instables. Les boucles de contrôle positives ou négatives du réseau contribuent à déterminer ces attracteurs et la stabilité des trajectoires suivies. La modélisation mathématique et la simulation informatique de tels systèmes multi-échelles est difficile actuellement, tant le système est complexe et comporte d'éléments et de niveaux d'interactions. Nous proposerons cependant des hypothèses théoriques qui pourraient expliquer son organisation et son comportement. Ainsi le système peut être considéré comme un système dissipatif d'énergie, « fractal-like », multi-échelle temporo-spatial intriqué, d'une diversité exceptionnelle, interagissant en réseau complexe.

Cette conception du système permet des phénomènes **d'émergence et d'immersion** qui concernent des enchaînements dynamiques sur différents niveaux d'échelle et aussi des transitions imprévisibles, dont les causes peuvent être liées à des phénomènes dynamiques non linéaires et à des effets de seuils.

Complexité d'un organisme: organisation et interaction avec l'environnement

Organisme-Système immunitaire-Environnement: identité et intégrité

Un système ou un organisme vivant peut être appréhendé par une agrégation organisée d'entités, de cellules et de molécules situées dans un espace et évoluant dans le temps. Pourtant un organisme n'est pas nécessairement de la même origine génétique. En effet, on peut considérer que font partie de l'organisme le microbiote, les cellules échangées entre mère et enfant, une greffe... Chaque entité du vivant est donc située relativement à d'autres entités qu'elle perçoit et/ou qui la perçoivent créant un lien et des interactions entre les objets et assurant une fonction. Ainsi, si le système nerveux assure la perception de l'environnement au niveau macroscopique voire psychologique, le système immunitaire permet de définir l'identité moléculaire de l'organisme et de garantir son intégrité. L'organisme des métazoaires est un agrégat dynamique et organisé de cellules eucaryotes issues de la cellule œuf, puis colonisé par des microbiotes. On peut noter ici que dans un organisme humain le nombre de cellules eucaryotes (10^{14}), est dix fois moindre que le nombre de cellules constituant le microbiote qui le colonise (10^{15}) et qui assure des fonctions symbiotiques. Le système immunitaire est donc à **l'interface des mondes eucaryotes et procaryotes** et assure par une action dynamique permanente le maintien de l'ensemble de ces éléments, donc **l'identité et l'intégrité** de l'organisme bien que les cellules soient renouvelées en permanence (tout comme les membres d'une société ou d'un écosystème). De plus il est à l'interface du régime protéique diversifié qui provient des organismes vivants pour assurer l'énergie du système dissipatif que représente tout être vivant. Le système immunitaire assure par une action dynamique permanente et un fort renouvellement le maintien de l'ensemble de ces éléments et l'intégrité de l'organisme, face aux changements de son environnement interne et externe.

Il s'agit donc en quelque sorte d'un écosystème miniaturisé à l'échelle de la cellule qui est confronté en permanence à des risques d'agressions « internes » -qui se traduisent au niveau de l'individu par des tumeurs,

maladies auto-immunes, allergies, réaction contre le fœtus étranger à la mère et avortements précoces...- ou «externes» de pathogènes ou de nourriture venant de l'environnement – qui se traduisent par des infections ou des allergies. Cet «écosystème» cellulaire maintient en permanence un **équilibre dynamique au niveau moléculaire et cellulaire qui assure la résilience du système «organisme» et son identité non seulement génétique mais aussi fonctionnelle et assure l'intégrité du système au cours du temps**. Cependant cette résilience peut être perdue dans le cas de certaines perturbations et engendrer des immunodéficiences et pathologies.

Evolution des espèces et rôle du système immunitaire

Le système immunitaire existe chez tout être vivant y compris les plantes et les bactéries avec des stratégies diverses⁸. Ainsi, chez les bactéries, une immunité adaptative est liée à l'expression de CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) permettant par ARN interférence de neutraliser le matériel génétique de plasmides et de phages, d'en garder la mémoire par insertion de séquences et de la transmettre avec une transmission Lamarckienne. Au cours de l'évolution des espèces, la duplication du génome complet chez les chordés a pu être un avantage contre le risque d'extinction par redondance de fonctions ou pour faciliter l'évolution biologique complexe⁹. La duplication du génome a été accompagnée d'innovations morphologiques et fonctionnelles indépendantes¹⁰ pour permettre la diversification somatique des lymphocytes dans différentes espèces. Sur la base de la diversité biologique produite, la sélection de différentes méthodes de diversifications somatiques des immuno-récepteurs a eu lieu. Le système immunitaire «adaptatif» commun chez les vertébrés¹¹, semble avoir été sélectionné pour permettre une adaptation permanente de l'organisme aux changements incessants de l'environnement dans lequel il évolue et permettre la survie de l'organisme face aux dangers rencontrés. L'étude de l'évolution de l'organisation des systèmes immunitaires à travers la diversification des immuno-récepteurs au cours de l'évolution des métazoaires permet de révéler des convergences (analogies) plutôt que des conservations (homologies) entre les systèmes, ce qui montre que le fruit des pressions exercées par les changements d'environnements et l'évolution temporelle des systèmes a permis de **favoriser la fonction du lymphocyte plutôt que la forme ou la structure des récepteurs**¹². Ainsi par exemple chez les vertébrés l'évolution s'est faite indépendamment chez les poissons agnathes (sans mâchoire) par rapport aux vertébrés à mâchoire. Un point commun est la présence duale de cellules B (immunité humorale, récepteur sécrété) et T (immunité cellulaire, récepteur à la membrane) et même de sous lignées analogues qui émergent d'un précurseur hématopoïétique commun, mais se différencient toujours dans des sites anatomiques séparés, et interagissent durant la réponse immune. Dans tous les cas il existe dans ces équivalents de lymphocytes T et B provenant d'une diversification germinale notoire entre espèces, une diversification somatique et l'expression d'un récepteur clonal, unique par cellule conférant la fonctionnalité de reconnaissance de l'antigène. Pourtant au niveau structural, la diversification est liée à des processus très différents: Il s'agit de diversification des «variable lymphocyte receptors» (VLRs) par conversion génique, initiée par des cytidine deaminases (CDAs), pour les vertébrés sans mâchoire, alors qu'il s'agit de recombinaison somatique de gènes V(D)J initiées par des recombinaisons (RAG) chez les vertébrés à mâchoire¹³. Qu'il s'agisse de diversification germinale ou d'adaptations somatiques, les métazoaires «ont tous sélectionné des moyens pour disposer d'un répertoire flexible d'immun récepteurs au niveau des populations et/ou des individus leur permettant de faire face aux changements de l'environnement»¹². Ces

⁸ Cooper, E. L. (2010). "Evolution of immune systems from self/not self to danger to artificial immune systems (AIS)." *Phys Life Rev* 7(1): 55-78.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20374928>

⁹ Van de Peer, Y., S. Maere and A. Meyer (2009). "The evolutionary significance of ancient genome duplications." *Nat Rev Genet* 10(10): 725-732.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19652647>

¹⁰ Flajnik, M. F. and M. Kasahara (2010). "Origin and evolution of the adaptive immune system: genetic events and selective pressures." *Ibid.* 11(1): 47-59.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19997068>

¹¹ Litman, G. W., J. P. Rast and S. D. Fugmann (2010). "The origins of vertebrate adaptive immunity." *Nat Rev Immunol* 10(8): 543-553.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20651744>

¹² Du Pasquier, L. (2009). "Diversification des immunorécepteurs au cours de l'évolution des métazoaires." *médecine/sciences* 25(3): 273-280

<http://www.medecinesciences.org/10.1051/medsci/2009253273>

¹³ Boehm, T. (2011). "Design principles of adaptive immune systems." *Nat Rev Immunol* 11(5): 307-317.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21475308>

moyens différent aux niveaux de la structure et des mécanismes de recombinaison mais semblent avoir convergé vers des fonctionnalités similaires¹¹.

Le système immunitaire adaptatif des vertébrés à mâchoire semble performant si on se réfère au nombre de petits générés à chaque génération qui diminue avec l'évolution des espèces (aboutissant la plupart du temps à un seul foetus viable chez l'homme). Il permet d'assurer l'intégrité de l'organisme et d'atteindre l'âge de reproduction mais aussi de préserver l'intégrité du foetus chez les vivipares. En effet, le foetus dont le patrimoine génétique est pour moitié étranger d'origine paternelle et donc étranger à la mère est considéré comme une allogreffe et est rejeté par le système immunitaire de la mère en absence de mécanismes de régulation dominante des lymphocytes T régulateurs de la mère¹⁴.

Diversité et dynamique des répertoires lymphocytaires

Répertoires

A l'interface du système immunitaire et son environnement, divers répertoires entrent en interaction : le **répertoire des lymphocytes** qui est généré par chaque individu (qui est représenté par différentes catégories de lymphocytes T et B et d'immunoglobulines) qui entre en cognition avec le **répertoire des antigènes** généré par l'environnement (organisme lui-même et tous les éléments qui interfèrent avec lui) via le répertoire des immuno-récepteurs, d'un type unique sur chaque lymphocyte. Un répertoire est une collection d'éléments et d'informations caractérisés par la distribution et l'abondance des espèces et des individus. De façon similaire à un écosystème on a donc l'interaction entre un certain nombre d'espèces d'agents (des familles de lymphocytes) dont la croissance et la survie dépend de signaux reçus par les immuno-récepteurs spécifique à chaque lymphocyte, interagissant avec des différentes espèces de ressources spécifiques (signaux spécifiques émis par les antigènes). On a donc un système interactif d'échange d'informations et de signaux. Tout comme en écologie on évalue le nombre, la fréquence et la diversité des espèces dans une communauté, la diversité des répertoires de récepteurs des lymphocytes est étudiée. Pour définir la diversité il faut définir la **notion de populations**, qui regroupent artificiellement des éléments partageant des critères communs des catégories définis par l'observateur (populations d'individus, de cellules, de récepteurs et de ressources). Selon le nombre n de paramètres mesurés, le nombre de populations identifiables potentiellement va augmenter à la puissance de 2 (2^n). Biologiquement toutes les populations possibles n'existent pas puisqu'elle sont le fruit de la sélection durant l'évolution et l'ontogénie, soit pour la génération des individus, des lymphocytes et des récepteurs, soit pour la génération des antigènes (essentiellement issus d'espèces vivantes comme les microorganismes, la nourriture, les allergènes ...). Le nombre de combinaisons émergentes du hasard et de la sélection est certes grand mais non infini.

Diversité somatique

Au cours de l'évolution des espèces et de l'ontogénie de chaque individu, les cellules lymphoïdes ont été sélectionnées pour créer une diversité de récepteurs protéiques d'un type unique sur chaque lymphocyte en cognition avec les éléments de l'environnement. Chaque lymphocyte a donc une identité liée à la séquence de ce récepteur. Les gènes contenus dans l'ADN d'une cellule ne permettraient pas de coder la diversité de chaque récepteur. Pourtant l'évolution indépendante des espèces, a permis de sélectionner (à plusieurs reprises et indépendamment) des mécanismes mis en œuvre dans des systèmes de type immunitaire et des processus de génération somatique de diversité. Ceci souligne encore si cela est nécessaire que le hasard permettant la diversité puis la sélection sont important pour l'émergence des systèmes vivants.

Chez les mammifères la diversité de récepteurs au niveau somatique (non codé au niveau germinale), a lieu par réarrangements au hasard parmi des familles de gènes (V-D-J) pour créer la région hypervariable CDR3 codant une région protéique de 6 à 13 acides aminés, en cognition directe avec les antigènes (souvent aussi un peptide de taille similaire). Le répertoire des immuno-récepteurs est donc théoriquement la diversité potentielle de séquences 6 à 13 acides aminés générés au hasard, aboutissant à 10^{15} séquences protéiques. Pourtant beaucoup de contraintes et d'étapes successives qui ont lieu à différents niveaux dans l'espace (ADN, protéine, signalisation intracellulaire, interactions inter-cellulaires...) et dans le temps (dans les cellules les plus immatures et durant leur étapes de différenciation) vont limiter et contraindre cette diversité. Les contraintes d'espace disponible dans un système clos, telle la taille de l'ADN dans le noyau d'une cellule et le nombre de

¹⁴ Chen, T., G. Darrasse-Jeze, A. S. Bergot, T. Courau, G. Churlaud, K. Valdivia, J. L. Strominger, M. G. Ruocco, G. Chaouat and D. Klatzmann (2013). "Self-specific memory regulatory T cells protect embryos at implantation in mice." *J Immunol* 191(5): 2273-2281.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23913969>

lymphocytes dans un être humain (environ 10^{12}) ne permettrait pas une diversité telle et donc impose une restriction.

Hasard et sélection: les composantes du temps et de l'espace

Les processus aboutissant à la diversité des catégories d'espèces, d'individus, de cellules et de récepteurs et de séquences protéiques est le résultat d'étapes successives hiérarchiques et de choix au cours du temps (des millions d'années pour les sélections d'espèces et microsecondes pour les interactions protéiques) et dans des espaces contraints de la biogée aux organites des cellules. Si le hasard génère et propose les possibilités, les contraintes entraînent des restrictions et la sélection au cours du temps. Cela revient donc à créer des catégories dont seules certaines sont viables. La sélection conduit à une arborescence des catégories créées par addition (comme dans les arbres phylogénétiques) puis multiplication des éléments sélectionnés.

La sélection s'opère donc sur différentes échelles temporo-spatiales pour ne garder qu'une infime quantité des possibilités liées au hasard. Des contraintes similaires aboutissent à des sélections similaires et donc des structures auto-similaires et fractales.

Dans les précurseurs des lymphocytes, parmi les réarrangements stochastiques somatiques des gènes qui vont permettre de former les immuno-récepteurs, beaucoup échouent entraînant la non viabilité des lymphocytes immatures indépendamment de leur spécificité potentielle. Ceux qui survivent à ce réarrangement moléculaire mécanique doivent ensuite recevoir des signaux actifs via l'immuno-récepteur protéique exprimé à la membrane de la cellule ce qui déclenche leur survie/division/différenciation (sélection positive) ou leur mort (par négligence ou sélection négative) en fonction de la qualité de leur récepteur (donc en quelque sorte de l'identité de la cellule). Ce processus entraîne à nouveau une sélection drastique et seulement 3 à 5 % des thymocytes survivent et vont être distribués dans les tissus lymphoïdes périphériques (sang, rate ganglions)⁷.

On obtient donc par exemple à partir d'une cellule souche, une différenciation arborescente, une diversité de lymphocytes (lignées et fonctions) ayant chacun un type unique d'immuno-récepteurs à sa surface qui alors s'amplifie clonalement. Cette diversité d'immuno-récepteurs est estimée théoriquement à 10^{15} possibilités. Pourtant, face à ces immenses possibilités stochastiques de différenciation et de réarrangement (le répertoire potentiel), seul un répertoire limité de lymphocytes et de récepteurs spécifique émerge, avec une grande constance pour des individus génétiquement identiques. Ce sont les contraintes génétiques, spatiale, temporelles de développement de l'individu qui limitent les possibilités.

Stabilité et variabilité

On observe que la composition en fréquence et en nombre des différentes catégories de lymphocytes est caractéristique des souches de souris et des organes avec très peu de variabilité inter-individuelle entre des animaux jeunes qui ont subi les mêmes contraintes. En revanche avec le vieillissement la variabilité augmente ce qui désorganise le système et sa stabilité. Cette variabilité peut être le fruit du hasard : par exemple la sénescence entraîne des défauts d'apoptose au hasard sur certaines cellules (la programmation des cellules pour mourir selon des signaux spécifiques est altérée) et ces cellules s'accumulent indépendamment de la spécificité de leur immuno-récepteur ce qui peut entraîner des expansions clonales. Alternativement, des clones stimulés chroniquement via leur immuno-récepteur (par exemple par une infection chronique comme le cytomégalovirus) subissent aussi une sénescence cellulaire : ici ils sont sélectionnés ce qui entraîne aussi une accumulation de clones mais qui n'est pas le fruit du hasard mais de la sélection antigénique. Cependant dans les deux cas la variabilité augmente et des perturbations du répertoire apparaissent issues du hasard ou de la sélection.

La question de la taille (nombre de cellules d'une même espèce ou taille d'un clone) vs la diversité d'un répertoire minimal (nombre d'espèces) et la fréquence de chaque espèce (représentation relative aux autres espèces) permettant la bonne fonctionnalité du système a été posée. Ce répertoire évolue durant la toute la vie d'un individu, depuis l'ontogénie (constitution du système immunitaire 'vide' chez l'embryon), accusant les perturbations subies quotidiennement durant toute la vie, pour se dégrader avec le vieillissement.

Efficacité du système et énergie

La diversité des espèces d'immuno-récepteurs produits confère une sorte d'énergie (entropie liée à la diversité des catégories générées par le hasard et sélectionnées par l'environnement), la récurrence des récepteurs produits (amplification clonale par division) et la capacité de chaque lymphocyte à reconnaître un répertoire d'environ un million d'antigènes avec des avidités variables permet que le système fonctionne efficacement face à la diversité des répertoires d'antigènes et que la réponse de type « mémoire » soit plus efficace, plus rapide et plus intense.

Cette conception peut s'approcher de la représentation mathématique proposée pour les fractales, basée sur des additions de catégories (composition liée au hasard puis sélection (restriction) conduisant à une arborescence des catégories (comme dans les arbres phylogénétiques), puis multiplication des éléments sélectionnés (décomposition). Cette organisation repose sur le hasard et des restrictions au possible du fait de contraintes temporo-spatiale, apportées entre autre par l'historicité du système (ou la transmission). Le système en réseau évolutif et adaptatif, permet donc la combinaison (i) d'énergie (qualité de diversité sélectionnée), (ii) d'intensité (quantité délivrée) et (iii) de puissance (flexibilité temporelle dégénérescence). Selon ces combinaisons on obtient des quantités relatives et qualités différentes de lymphocytes de l'ontogénie au vieillissement. Cette composition est déterminante de la dynamique des réponses immunitaires de type primaire (lente, peu intense et peu efficace) et des réponses de type «mémoire» plus rapide et plus intense après par exemple une primo-infection ou une vaccination. De façon plus générale, en biologie ou en écologie les systèmes sont de même intriqués, multidimensionnels, formant des réseaux communiquant de façon verticale et horizontale entre les niveaux d'organisation.

Homéostasie et dynamique

Les mesures de pourcentages ou de nombre d'individus - représentés par des cellules au sein du système immunitaire ou des organismes au sein d'un système écologique- peuvent donner des valeurs relativement constantes au cours du temps. C'est l'homéostasie du système qui régule pourtant les quantités et tend à maintenir ce qui paraît «constant» à l'observateur. Pourtant ceci ne préjuge pas de la dynamique du système si on considère la durée de vie d'une entité (cellule) influençant la durée de vie d'une population d'entité (population de cellules) et de l'influence des taux de prolifération et mortalité sur les taux de renouvellement, les temps de résidence dans un compartiment donné, des flux d'entrée et sortie d'une niche donnée qui vont éventuellement alimenter par migration une autre niche¹⁵. Ainsi, pour une population d'entités cellulaires déterminées par l'observateur, les taux de prolifération et de mort vont permettre de définir un taux de renouvellement pour un compartiment ou une population donnée¹⁶. Nous avons pu modéliser et simuler la dynamique de différenciation, sélection et migration des populations de lymphocytes T¹⁷ ; Ces études révèlent la grande stabilité des nombres et fréquences de lymphocytes observés chez les individus jeunes, la faible intervariabilité entre des individus jeunes de même fond génétique soumis aux mêmes conditions environnementales. Ces valeurs stables sont associées portant au très fort renouvellement des populations lymphocytaires ce qui permet une bonne capacité de retour à l'homéostasie après une déplétion transitoire. En revanche chez les individus âgés, où le système immunitaire est moins performant, on observe une plus faible prolifération et différenciation lymphocytaire, l'augmentation de la mortalité ce qui induit une faible capacité de renouvellement et une faible diversité. Ce système retourne beaucoup plus lentement à l'homéostasie après une perturbation transitoire ou dans d'autres cas perd totalement cette capacité et sa diversité induisant une immunodéficience et donc manque de résilience. Les origines génétiques donc l'historicité de chaque souche ou individu va contribuer aussi à cette dynamique.

La variation même très faible d'un taux de reproduction, de mortalité, de différenciation ou de migration va changer drastiquement la dynamique et les capacités de renouvellement d'autant que souvent les phénomènes sont en chaîne car il y a des transitions possibles d'une entité d'une population vers une autre (différenciation cellulaire au sein d'un même organe ou migration de cellules d'un organe vers un autre; par analogie la migration d'un individu d'un territoire vers un autre). Cette dynamique va aussi être contrainte par l'environnement, la compétition et les ressources.

¹⁵ Thomas-Vaslin, V., A. Six, B. Bellier and D. Klatzmann (2013). Life Span, Turnover, Residence Time. *Encyclopedia of Systems Biology*. W. O. Dubitzky, O. Wolkenhauer, K.-H. Cho and H. Yokota, Springer New York: 1125-1126 http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-9863-7_712

¹⁶ Thomas-Vaslin, V., A. Six, B. Bellier and D. Klatzmann Lymphocyte Dynamics and Repertoire, *Biological Methods* W. O. Dubitzky W, Springer, Heidelberg New York.

Thomas-Vaslin, V., A. Six, B. Bellier and D. Klatzmann Lymphocytes dynamics repertoires, modeling. *Encyclopedia of Systems Biology*. W. O. Dubitzky W, Springer, Heidelberg New York.

¹⁷ Thomas-Vaslin, V., H. K. Altes, R. J. de Boer and D. Klatzmann (2008). "Comprehensive assessment and mathematical modeling of T cell population dynamics and homeostasis." *J Immunol* 180(4): 2240-2250. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=18250431

Compétition, diversité et ressources

L'échelle d'observation et le point de vue de l'observateur sont importants pour considérer un système. Si on considère une société ou une population par exemple d'animaux, la persistance de cette population dépendra de sa capacité de reproduction qui doit compenser la mortalité, de l'environnement qui doit assurer les ressources nécessaires et de l'efficacité de son système immunitaire pour lutter contre les infections, donc de la performance du système immunitaire et donc de la dynamique cellulaire. Du point de vue écologique la survie de l'espèce peut être assurée même si la mortalité individuelle est élevée et précoce, comme il y en eut quelques décennies où l'espérance de vie humaine était de 45 ans. L'augmentation de la longévité des individus humains, de la diminution de la mortalité (liée à la médecine et amélioration des conditions de vie) et de leur nombre introduit une compétition différente par rapport aux autres individus ou espèces. En écologie les espèces d'animaux différents vont entrer en compétition dans leur milieu par exemple pour des espaces ou des nourritures, soit spécifique de leur espèce, soit partagées entre espèces. Ici intervient alors la notion de diversité et compétition spécifique et non spécifique. Il en est de même pour les lymphocytes: la compétition entre individus d'un même clone ou intra- espèce concernera la même ressource, le même nutriment spécifique de l'espèce ou le même antigène. La compétition entre clones différents ou inter-espèce concernera des ressources non spécifiques d'espèces comme l'eau ou les cytokines pour les lymphocytes: plus la diversité alimentaire ou antigénique sera grande (capacité d'un lymphocyte de reconnaître différents antigènes en compétition) plus la probabilité de survie de l'individu sera grande pour une capacité de charge limitée (nombre d'individu) du système. De même plus la diversité de catégorie ou du répertoire est grande, plus grande est la probabilité qu'un nombre d'individus survivent car adaptés aux contraintes du milieu. Ces mouvements dynamiques sont accompagnés de compétition pour une niche (espace), pour des ressources spécifiques de l'espèce (antigène ou nutriment spécifique pour un organisme) ou non spécifique (cytokine ou eau/air pour un organisme) selon une capacité de charge. Seuls les individus sélectionnés sur ces critères survivront.

Un exemple intéressant de modélisation et simulation de cette **compétition pour les ressources et la diversité** est donnée dans l'article de Kepler¹⁸. Ce groupe modélise la compétition entre les divers clones de lymphocytes T selon les ressources spécifiques (reconnues par l'immuno-récepteur) et les ressources non spécifiques (cytokines). La simulation concerne la reconstitution d'un enfant immuno-déficient (sans lymphocyte T, souffrant d'un syndrome de Di George, léthal très tôt après la naissance) permettant la génération progressive de lymphocytes de spécificités différentes dans l'organisme. Le dilemme est de reconstituer très vite un système avec beaucoup de lymphocytes peu diversifiés ou plus lentement un système diversifié mais avec moins de lymphocytes. L'objectif est d'avoir un système suffisamment diversifié et efficace pour lutter contre les infections et rendre l'individu immunocompétent et viable. Le système évolue en fonction de la disponibilité des ressources spécifiques pour le lymphocyte (antigène stimulant la prolifération lymphocytaire via l'immuno-récepteur des cellules T (TCR), donc de façon clonale) ou non spécifiques (molécule qui stimule la prolifération indépendamment de la spécificité TCR, donc de façon polyclonale). Les résultats suggèrent que la taille maximale de la population lymphocytaire atteinte (capacité de charge) dépend de la compétition pour des ressources spécifiques (compétition intra-clonale, reconnaissant le même antigène) et non de ressources non spécifiques (inter-clonale, espace, autres ressources), mais que la diversité des espèces atteintes dépend des ressources non spécifiques. En présence de fortes ressources spécifiques d'une espèce, (peu de compétition non spécifique), le nombre de clones d'une espèce (de lymphocytes) sera 1000 fois plus grand (prolifération oligoclonale). Le nombre d'espèces (diversité) atteint au bout du même temps sera 20 fois plus faible avec une concentration d'individus atteinte très rapidement. Au contraire, si la croissance clonale des espèces est limitée par la compétition pour des ressources spécifiques alors que les ressources non spécifiques sont abondantes, alors la diversité du nombre d'espèces sera grande et la taille des clones d'espèce sera petite.

L'équilibre entre la taille d'une population, sa diversité et la compétition d'un nombre d'individus dont les ressources sont limitées est donc permanent. Si les conditions changent par modification de paramètres liés à l'individu (nombre d'individus, mortalité, longévité, taux de reproduction) ou liés à l'environnement (espaces, niches, ressources, structures tridimensionnelles, nombre et durée d'interactions, altération de migration orientée etc...) alors l'équilibre est perturbé.

¹⁸ Ciupe, S. M., B. H. Devlin, M. L. Markert and T. B. Kepler (2009). "The dynamics of T-cell receptor repertoire diversity following thymus transplantation for DiGeorge anomaly." *PLoS Comput Biol* 5(6): e1000396.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19521511>

Infections chroniques et déséquilibres

Des changements de paramètres comme l'infection par le virus HIV chez l'homme qui détruit une population de lymphocytes T (les CD4) et accélère leur prolifération, induit à long terme en quelques mois ou années une immunodéficience et le SIDA, car le système ne peut se régénérer pour compenser les pertes liées à l'infection virale chronique. Les infections chroniques virales peuvent aussi contribuer à l'activation chronique des lymphocytes qui entrent en sénescence et ne peuvent plus mourir. Dans la seconde moitié de la vie (après 50 ans chez l'homme) il y a alors des accumulations de lymphocytes inutiles et inefficaces pour tuer les cellules infectées. Ces expansions clonales peuvent occuper 80% du nombre de lymphocytes, entre en compétition avec les autres lymphocytes et diminuent la diversité donc contribuent à une immunodéficience chez la personne âgée. Les traitements immunosuppresseurs en déstabilisant les équilibres contribuent à une émergence plus rapide de ces clones et un vieillissement accéléré.

L'introduction d'une population nouvelle d'agents (individus, lymphocytes) selon sa fréquence et sa dynamique peut donc perturber le système. De manière similaire l'introduction ou disparition d'une ressource (nouvel antigène, nouvel OGM, ou disparition d'une espèce d'un antigène...) va perturber la probabilité de survie des autres espèces par des changements de compétition donc de dynamique des systèmes. La compétition par système proie /prédateur qui a été également simulée va agir de même et perturber les équilibres.

On voit donc que les équilibres générés par la nature sont dynamiques, diversifiés mais fragiles, susceptible au vieillissement, aux compétitions et à la perte de diversité et peuvent être rompus avec des conséquences immédiates ou différées selon le niveau touché et le nombre d'éléments et de niveaux d'échelles en jeu. De plus il faut considérer l'historicité des systèmes à toutes les échelles qui influencent la transmission des informations et la mémoire du système.

Evolution du système immunitaire dynamique adaptatif-Organisation

Historicité du système

Le concept d'historicité pour Williams semble lié à celui de la sélection naturelle en biologie lors de la mise en œuvre de mécanismes. Les contingences historiques vont alors déterminer les propriétés de la biosphère dont la formation est un évènement unique lié à la sélection au cours du temps¹⁹. En plus de l'historicité relative à l'évolution des espèces, il faut noter que le système dynamique se construit pendant la vie fœtale sur la base de l'héritage génétique mais aussi épigénétique. Des effets épigénétiques trans-générationnels peuvent avoir lieu chez les animaux et les plantes²⁰. Ainsi l'environnement cellulaire et humoral du système immunitaire apporté par la mère peut influencer le système de la descendance. En effet un micro-chimérisme bilatéral s'établit entre le fœtus et la mère avec la persistance à long terme des cellules fœtales chez la mère²¹. De plus, les anticorps maternels sont porteurs «d'information». En effet, les idiotypes et anti-idiotypes maternels des IgG qui dépendent de l'expérience immunologique de la mère sont transmis durant la période néonatale à la progéniture et influencent l'ontogénie et la détermination du répertoire immunitaire des descendants avec des effets bénéfiques ou délétères (autoimmunité)²². Selon une vue Lamarckienne, cet héritage non génétique trans-génération permet l'influence des IgG de la mère donc de caractères acquis au niveau somatique en fonction du vécu et de l'histoire immunitaire de la mère, sur le système immunitaire de la progéniture. La mémoire immunologique consécutive à une primo-infection par un ADN viral peut aussi se transmettre à travers les générations chez les insectes²³. Il est aussi montré que le comportement des animaux comme la réponse au stress, dépend de l'environnement auquel les animaux de trois générations précédentes ont été

¹⁹ Williams, G. (1992). *Natural selection: domains, levels and challenges*, Oxford University press.

http://books.google.fr/books?id=nTJZ9QTssYC&dq=historicity+williams+1992&lr=&hl=fr&source=gbs_navlinks_s

²⁰ Grossniklaus, U., B. Kelly, A. C. Ferguson-Smith, M. Pembrey and S. Lindquist (2013). "Transgenerational epigenetic inheritance: how important is it?" *NATURE REVIEWS GENETICS* 14(3): 228–235
<http://www.nature.com/nrg/journal/v14/n3/abs/nrg3435.html>.

²¹ Maloney, S., A. Smith, D. E. Furst, D. Myerson, K. Rupert, P. C. Evans and J. L. Nelson (1999). "Microchimerism of maternal origin persists into adult life." *Journal of Clinical Investigation* 104(1): 41–47.
<http://www.jci.org/cgi/content/abstract/104/1/41>.

²² Lemke, H., A. Coutinho and H. Lange (2004). "Lamarckian inheritance by somatically acquired maternal IgG phenotypes." *Trends in Immunology* 25(4): 180-186.

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1471490604000572U>

²³ Tidbury, H. J., A. B. Pedersen and M. Boots (2010). "Within and transgenerational immune priming in an insect to a DNA virus." *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 278(1707): 871-876
<http://rspb.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rspb.2010.1517>

exposés, comme un fongicide toxique²⁴. Un régime alimentaire réduit chez les parents de l'insecte *Plodia interpunctella* la pyrale des fruits diminue les réactions immunitaires de la descendance²⁵. Ceci indique que les caractéristiques immunitaires liées à l'histoire d'un individu, les effets d'immunisation diverses, de stress, de la nourriture peuvent, par des phénomènes épi-génétiques liés au micro-chimérisme et échanges mère-foetus, se transmettre à la descendance favorisant une meilleure réponse contre des agents infectieux mais aussi des risques d'auto-immunité. Ainsi le système immunitaire qui permet d'assurer, si ce n'est la survie de l'individu, au moins celle de l'espèce à travers les générations et l'environnement rencontré, permet de transmettre des informations relatives aux antigènes rencontrés à travers les générations. Chaque organisme et le système immunitaire qu'il héberge a donc une histoire propre qui est le produit de la sélection de l'espèce, de l'histoire immunologique de la mère et de l'environnement dans lequel l'organisme évolue, naît et vieillit.

La réponse immunitaire engendrée par un virus dépend elle aussi de l'historicité du virus qui infecte l'organisme. Ainsi en laboratoire, un virus SIV de singe cultivé sur des cellules humaines entraîne des molécules humaines dans sa structure. Cette préparation a conduit à penser qu'un vaccin contre le SIV pouvait être efficace après injection chez le singe mais il a ensuite été observé que la réponse était en fait dirigée contre les antigènes humains embarqués dans l'enveloppe virale entraînant une réponse xénogénique contre les déterminants humains²⁶. Ici l'historicité du virus et donc sa capacité immunogène a été changée malencontreusement par les chercheurs.

Mémoire

Comme le système immunitaire est un système complexe en réseau dynamique localisé dans un espace temporo-spatial, il présente à chaque instant une mémoire des événements passés (nombre, diversité et qualité des entités et de leurs connexions, définissant un état non stochastique de connexion du réseau = rétention) ce qui va déterminer sa réaction présente et donc le futur (=protention) par un enchaînement de processus d'activation en liaison avec l'environnement. Ainsi, le changement d'expression de certains gènes dès 6 heures après une immunisation vaccinale est déterminante et prédictive de l'efficacité de la réponse immunitaire et vaccinale qui sera observée 3 semaines plus tard. Ce changement d'expression est spécifique du type de vecteurs viral utilisé (plus ou moins immunogène) exprimant pourtant le même antigène test (Bellier B. et coll. en préparation). Si l'activation concerne des éléments du réseau déjà présents et préalablement activés, donc avec plus de connexions, ceci va permettre de déclencher une réponse immune plus rapide et plus intense, dite secondaire. Ce phénomène n'est pas conscient, ni intentionnel, mais lié aux propriétés systémiques du réseau interactif et cognitif complexe. Cette propriété systémique est liée à l'activation/division permanente de lymphocytes en interaction en réseau (dont le réseau idiotypique²⁷) et non à des cellules persistantes quiescentes dites «mémoire». Nous avons en effet montré que la mémoire immunitaire est perdue si on effectue une déplétion transitoire des lymphocytes T en division durant la phase de maintien de la mémoire²⁸. Ces lymphocytes restent en phase G1 du cycle cellulaire et en division «lente», ce ne sont pas des lymphocytes à vie longue. Il s'agit donc bien d'une propriété globale du système dynamique et non de propriétés de cellules individuelles, d'autant que des lymphocytes ayant un phénotype dit « mémoire » sont pourtant observés chez les animaux ayant une « amnésie immunologique ». Les perturbations dans la dynamique de division des cellules liée au vieillissement ou à des traitements de chimiothérapie pourraient donc altérer la mémoire immunologique.

²⁴ Crews, D., R. Gillette, S. V. Scarpino, M. Manikkam, M. I. Savenkova and M. K. Skinner (2012). "Epigenetic transgenerational inheritance of altered stress responses." *Proc Natl Acad Sci U S A* 109(23): 9143-9148.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22615374>

²⁵ Triggs, A. M. and R. J. Knell (2012). "Parental diet has strong transgenerational effects on offspring immunity." *Functional Ecology* 26(6): 1409-1417

<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2435.2012.02051.x>

²⁶ Le Grand, R., B. Vaslin, G. Vogt, P. Roques, M. Humbert, D. Dormont and A. M. Aubertin (1992). "AIDS vaccine developments." *Nature* 355(6362): 684-685.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1741053>

²⁷ THOMAS-VASLIN, V. (2014). "A complex immunological idiotypic network for maintenance of tolerance." *Frontiers in Immunology* 5: 369.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25132837>

²⁸ Bellier, B., V. Thomas-Vaslin, M. F. Saron and D. Klatzmann (2003). "Turning immunological memory into amnesia by depletion of dividing T cells." *Proc Natl Acad Sci U S A* 100(25): 15017-15022.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14634206>

Structuration d'un système contraint -Emergence

Le caractère complexe multi-échelle du système immunitaire permet de proposer que la construction et structuration du système immunitaire repose sur la cognition distribuée par les protéines des immuno-récepteurs de l'information portée par les antigènes qui va remonter jusqu'au niveau des cellules, populations et organisme. L'organisation d'un individu commence durant l'ontogénie (vie fœtale) chez le zygote unicellulaire dans le cadre systémique de l'historicité portée par le contenu cellulaire du cytoplasme et organites transmis par la mère, l'expression du code génétique assemblé à partir des chromosomes parentaux et des contraintes de type physique, métaboliques etc... qui font apparaître des restrictions. Cette organisation n'est donc pas issue du désordre, mais d'intégrations agencées dans les contraintes de l'espace et du temps. Schrödinger dès 1944²⁹ a perçu qu'un organisme vivant est issu de hasard et d'ordre biologique et est la seule part du monde naturel à contenir la description interne –appelé code-script- de lui même, bien avant la découverte du code génétique. Donc le développement d'un individu est fondé en partie sur un ordre existant et qui se transmet. Dans la cellule le code correspond à un programme utile à l'exécution de fonctions. Cependant, il existe une grande part de variabilité et d'aléatoire dans les recombinaisons, les méthylations et dans l'expression protéique. Le code est indépendant de la capacité d'assembler des fonctions. Ainsi dans la cellule l'ADN, le support qui peut être copié est indépendant des polymérases permettant la synthèse des ARN et des protéines.³⁰ Donc bien que le code génétique soit relativement stable, pourtant soumis à de nombreuses mutations, le métabolisme cellulaire qui va lire ces instructions et établir les fonctions cellulaires va laisser la place à beaucoup de variabilité et de phénomènes aléatoires. De plus, les perturbations induites dans un organisme par un changement de métabolisme vont induire une plasticité de l'expression génique non reproductible (flexibilité) et une adaptation qui nécessite une dizaine de générations de cellules de façon à contrebalancer cette perturbation³¹.

La structuration tridimensionnelle des interactions cellulaires pour former des organes va permettre la formation de l'organisme au cours du temps, comme cela est actuellement modélisé dans des programmations de vie artificielle³². Ainsi par exemple, les ébauches des organes lymphoïdes sont au départ des structures épithéliales vides, colonisés par différentes vagues de précurseurs hématopoïétiques³³. La structure de taille limitée de l'épithélium (par exemple l'ébauche thymique) qui reçoit les cellules hématopoïétiques pourraient participer à l'organisation de la structure et à l'émergence de «patterns» reconnaissables en histologie. Ces cellules s'agrègent et se regroupent alors en «**cluster**» (par exemple zone T et B dans les ganglions, cortex et medulla dans le thymus etc ...) créant des «**patterns**» dynamiques permettant ensuite d'assurer des fonctions par émergence et action commune : division et différenciation cellulaire, génération de diversité des récepteurs, puis rôle fonctionnel, sécrétion de facteurs, migration des cellules réponses immune aux antigènes, comme cela a été modélisé in silico pour la réponse des lymphocytes B dans le ganglion³⁴. Ces «patterns» cellulaires sont altérés ainsi que la fonctionnalité, si on change l'expression d'une molécule, montrant qu'une perturbation à l'échelle moléculaire se répercute par des effets en chaîne jusqu'à l'échelle de l'organisme ou des populations d'individus.

²⁹ Schrödinger, E. (1944). *What is life?*, Cambridge University press.

³⁰ Longo, G. (2009). "From exact sciences to life phenomena: Following Schrödinger and Turing on Programs, Life and Causality." *Information and Computation* 207(5): 545-558

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0890540109000248>

Brenner, S. (2012). "Turing centenary: Life's code script." *Nature* 482(7386): 461.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22358811>.

³¹ Stern, S., T. Dror, E. Stolovicki, N. Brenner and E. Braun (2007). "Genome-wide transcriptional plasticity underlies cellular adaptation to novel challenge." *Mol Syst Biol* 3: 106.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17453047>

³² Vainas, O., D. Harel, I. R. Cohen and S. Efroni (2011). "Reactive animation: from piecemeal experimentation to reactive biological systems." *Autoimmunity* 44(4): 271-281.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21244340> Ulieru, M. and R. Doursat (2011). "Emergent engineering: a radical paradigm shift." *International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems* 4(1): 39–60.

<http://inderscience.metapress.com/index/E1043U38662PL00V.pdf>

³³ Le Douarin, N. M. and F. Dieterlen-Lièvre (2013). "How studies on the avian embryo have opened new avenues in the understanding of development: A view about the neural and hematopoietic systems." *Development, Growth & Differentiation* 55(1): 1-14.

<http://doi.wiley.com/10.1111/dgd.12015>

³⁴ Swerdlin, N. I., I. R. Cohen and D. Harel (2008). "The Lymph Node B Cell Immune Response: Dynamic Analysis In-Silico." *Proceedings of the IEEE* 96(8): 1421-1443.

Cette organisation contrainte n'est pas sans rappeler celle de la membrane et des organites dans la cellule, selon le concept de membrane close et d'autopoïèse³⁵. Les cellules et leur multitude d'interactions locales permettent une auto-organisation décentralisée révélant des phénotypes avec polymorphisme et l'émergence de comportement global fonctionnel au niveau macroscopique qui repose sur l'hétérogénéité et la diversité des constituants microscopiques. Cette décentralisation repose sur le fait qu'il n'y a pas de programme ni d'organe « pensant » l'organisation tridimensionnelle dans l'espace et dans le temps. C'est donc l'environnement interactif qui va permettre l'organisation du système, sur la base du code du génome. L'émergence d'une architecture bidimensionnelle et permettant de générer un organisme artificiel programmable qui se différencie par auto-organisation sur la base de hasard et de contraintes d'algorithmes cellulaires lié au génotype et aux boucles de contrôles positifs et négatifs qui agissent sur le système, a été montrée³⁶. Les propriétés structurelles du système contraint, organisé dans sa complexité, sur la base de son évolution et de la sélection de processus, vont donc influencer la fonctionnalité, la dynamique, la robustesse et fragilité du système³⁷, selon le concept « robust yet fragile ».

En conclusion, la structuration du système repose sur différents niveaux d'organisation biologique et processus dynamiques: cellules ou molécules préexistantes assemblées (d'où la notion d'historicité: la cellule oeuf est déjà un système organisé), permettant d'effectuer des divisions et différenciations cellulaires algorithmiques en interface avec un contexte biologique environnemental (la mère et son propre système immunitaire chez les vivipares), un contexte stochastique de diversité d'antigènes estimé à 10^{19} , et des contraintes physiques. Les modifications internes à la cellule, comme du code génétique, ou externes de l'environnement, peuvent donc interférer avec le comportement de l'organisme.

Modèle non linéaires, réponses aux perturbations et chaos

La réponse aux perturbations et la résilience –(capacité de maintenir une intégrité fonctionnelle)- du système immunitaire adaptatif est un phénomène attendu si l'on observe les organismes vivants dans leur environnement très changeant, permettant une réponse rapide et ciblée contre une majorité d'antigènes et de pathogènes. Cette réponse est liée à une prolifération exponentielle et rapide de lymphocytes reconnaissant les antigènes avec une certaine spécificité et affinité pour éliminer rapidement ce pathogène. Cependant, les processus de régulations homéostatiques se mettent en place pour réduire le nombre de lymphocytes une fois l'infection contrôlée. Ces processus dynamiques se renouvellent à chaque instant dans un contexte de compétition dynamique des lymphocytes ayant des immuno-récepteurs différents afin d'équilibrer une réponse efficace, la préservation d'un nombre de lymphocytes relativement constant (aspect contraint du système dans un espace fini à un instant t appelé capacité de charge). Une fraction de ces lymphocytes pourra assurer une réponse mémoire plus efficace que la réponse primaire en cas d'infection par un pathogène similaire (aspect cross-réactif du système dans l'espace temps).

On peut aisément faire un parallèle entre des lymphocytes, considérés comme des individus (agents) ou des populations de lymphocytes agrégés et des populations écologiques ou sociales d'individus (animaux, végétaux), qui migrent, s'assemblent dans des territoires, entrent en compétition pour les ressources, subissent des processus de sélection, des perturbations/dégradations, se reconstituent au cours du temps ou disparaissent ...

L'organisation et la robustesse peuvent être notés dans d'autres systèmes biologiques et la question de la variabilité des échelles, des fluctuations, de la stochasticité et de la stabilité des systèmes ont été évoquées³⁸

Les systèmes dissipatifs tel que les systèmes biologiques ou écologiques ont une connectivité qui varie selon leur développement³⁹. Il est intéressant de noter qu'expérimentalement certains algorithmes et automates

³⁵ Maturana, H. R. and F. J. Varela (1980). *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*, D Reidel Pub Co.

³⁶ Ulieru, M. and R. Doursat (2011). "Emergent engineering: a radical paradigm shift." *International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems* 4(1): 39–60.

<http://inderscience.metapress.com/index/E1043U38662PL00V.pdf>

³⁷ Alderson, D. L. and J. C. Doyle (2010). "Contrasting Views of Complexity and Their Implications For Network-Centric Infrastructures." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans* 40(4): 839-852
<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5477188>

³⁸ Lavelle, C., H. Berry, G. Beslon, F. Ginelli, J. Giavitto, Z. Kapoula, A. Le Bivic, N. Peyrieras, O. Radulescu, A. Six, V. Thomas-Vaslin and P. Bourguin (2008). "From molecules to organisms: towards multiscale integrated models of biological systems." *Theoretical Biology Insights* 1: 13-22.

<http://www.la-press.com/from-molecules-to-organisms-towards-multiscale-integrated-models-of-bi-article-a1056>.

³⁹ Amzallag, G. N. (2004). "Critical periods as fundamental events in life." *Theory in Biosciences* 123(1): 17–32

<http://link.springer.com/article/10.1016/j.thbio.2004.03.003>.

cellulaires reproduisent des patterns d'organisation comme un embryon³⁶ de cristaux, de fleurs, de formes ressemblant à des insectes...⁴⁰ où l'introduction d'un chiffre au hasard devrait perturber la structure. La capacité de régénération et la robustesse d'embryons artificiels à la destruction de quelques cellules fonctionne tant que l'embryon est en développement mais plus lorsque le développement est terminé⁴¹. Ceci suggère la limite de flexibilité des systèmes qui sont déjà établis dans un équilibre et qui ne sont plus en état de «développement».

Modélisations et simulations dans le temps et l'espace

L'échelle d'étude cellulaire du système immunitaire permet une évaluation qualitative et quantitative de ses composants en laboratoire. On peut en effet analyser les répertoires lymphocytaires et quantifier leur diversité maintenant jusqu'au niveau des séquences nucléotidiques⁴². Des modèles et simulations du comportement du système en particulier de la composition et de la dynamique des populations lymphocytaires (taux de production, renouvellement, flux, diversité..) et des processus d'homéostasie face aux perturbations sont proposés⁴³. Nous tentons actuellement de comprendre l'évolution de ce système dynamique au cours du vieillissement et des effets de perturbations notoires telles qu'une destruction transitoire des cellules en division (immunosuppression) sur le renouvellement du système⁴⁴. Pour cela nous tentons de décrire une (infime) partie des composants structurels et de leur interaction et relations dynamiques multi-échelles (avec des méthodes multiparamétriques à haut-débit). Cela permet d'étudier la dynamique de renouvellement des populations lymphocytaires, leur diversité, la variabilité et la robustesse ou non d'un tel système.

Les modélisations informatiques dynamiques des systèmes peuvent maintenant être produites en s'appuyant sur des diagrammes de transition d'états afin que les modélisations puissent être compréhensibles à la fois par les biologistes, les mathématiciens et les informaticiens et directement exécutables⁴⁵. Ces modélisations permettent de reconstruire une partie du système et de suivre son évolution dans l'espace et le temps *in silico* du comportement cellulaire. L'approche dite « bottom-up » de reconstruction à partir des règles de comportement des éléments individuels ou « top-down » de modélisation de populations reste mécanistique mais permettra néanmoins de modéliser des systèmes hétérogènes et multi-échelles⁴⁵.

Emergence

Bien que réductionniste et mécanistique cette approche peut permettre de révéler certains comportements inattendus émergents ou qui ne répondent à aucune intuition. Un exemple est la simulation par « animation réactive » montrant la compétition entre lymphocytes CD4 et CD8 pour le contact avec le complexe majeur d'histocompatibilité (MHC) lors de la différenciation thymique qui aboutit à une propriété émergente et permet d'expliquer la sélection préférentielle de lymphocytes T CD4⁴⁶ qui apparaît chez de nombreuses

⁴⁰ Shin, J. K. (2011). "Identifying patterns from one-rule-firing cellular automata." *Artificial Life* 17(1): 21–32.

http://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/artl_a_00015

⁴¹ Joachimczak, M. and B. Wrobel (2012). "Evolution of robustness to damage in artificial 3-dimensional development." *Biosystems* 109(3): 498-505.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22709976>

⁴² Six, A., M. E. Mariotti-Ferrandiz, W. Chaara, S. Magadan, H. P. Pham, M. P. Lefranc, T. Mora, V. Thomas-Vaslin, A. M. Walczak and P. Boudinot (2013). "The Past, Present, and Future of Immune Repertoire Biology - The Rise of Next-Generation Repertoire Analysis." *Front Immunol* 4: 413.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24348479>

⁴³ Thomas-Vaslin, V., H. K. Altes, R. J. de Boer and D. Klatzmann (2008). "Comprehensive assessment and mathematical modeling of T cell population dynamics and homeostasis." *J Immunol* 180(4): 2240-2250.

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=18250431

⁴⁴ Thomas-Vaslin, V., A. Six, H. P. Pham, C. Dansokho, W. Chaara, B. Gouritin, B. Bellier and D. Klatzmann (2012). Immunodepression & Immunosuppression during aging. *Immunosuppression*. M. B. Portela. Brazil, InTech open access publisher: 125-146.

<http://www.intechopen.com/books/immunosuppression-role-in-health-and-diseases/immunodepression-immunosuppression-during-aging->

⁴⁵ Bersini, H., D. Klatzmann, A. Six and V. Thomas-Vaslin (2012). "State-transition diagrams for biologists." *PLoS One* 7(7): e41165.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22844438>,

Thomas-Vaslin, V., A. Six, J. G. Ganascia and H. Bersini (2013). "Dynamical and mechanistic reconstructive approaches of T lymphocyte dynamics: Using visual modelling languages to bridge the gap between immunologists, theoreticians and programmers." *Frontiers in Immunology* 4: 300

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24101919>

⁴⁶ Efroni, S., D. Harel and I. R. Cohen (2007). "Emergent dynamics of thymocyte development and lineage determination." *PLoS Comput Biol* 3(1): e13.

espèces. Le temps de contact et compétition entre des entités au niveau moléculaire ou cellulaire est donc déterminant de la fréquence de populations de cellules qui vont être produites. On voit donc que les changements à des échelles inférieures peut agir sur les échelles supérieures, ce qui constitue l'émergence et est le résultat de comportement collectifs qui ne peut être prédit à l'échelle d'une entité.

Altération de paramètres du système

Ces modélisations permettent d'évaluer le comportement global du système multi-échelle et l'effet de perturbations transitoires ou durables à des échelles infra de valeurs paramétriques ou structurels sur le comportement à l'échelle supra.

Déplétion transitoire

Nous montrons que la variation intentionnelle de paramètres comme la déplétion transitoire de lymphocytes en division (équivalent d'une chimiothérapie anti-cancéreuse) induit l'effondrement des populations qui pourront se reconstituer au bout d'un certain temps si on ne change pas les valeurs des autres paramètres⁴⁷. La modélisation de cette perturbation révèle le retour à l'équilibre en quelques semaines pour un système jeune, et sans perturbation de sa structure et donc révèle une homéostasie. Les capacités de régénérations et de retour à l'équilibre dépendant aussi des conditions initiales comme le fond génétique et l'âge. Ainsi le même traitement appliqué sur des individus âgés induit une accélération du vieillissement naturel du système⁴⁴ et pas de retour à l'homéostasie. Certains traitements immunosuppresseurs pourraient accélérer le vieillissement du système immunitaire en particulier chez l'individu âgé, immunodéprimé car ses capacités régénératives sont limitées du fait de l'involution thymique, de la capacité réduite de prolifération lymphocytaire, donc de renouvellement dynamique de génération de diversité et de l'accumulation de cellules sélectionnées et /ou sénescence^{Erreur ! Signet non défini.}. La thymectomie qui représente une déplétion permanente de la source de lymphocyte naïfs, prive le système de la régénération naturelle de diversité, affecte le répertoire immunitaire et accélère le vieillissement immunitaire.

Distribution stochastique

La perturbation de la structure bidimensionnelle du thymus⁴⁷ (conservation de la densité mais redistribution stochastique et non plus organisée «en pattern» de la répartition des cellules épithéliales thymiques), perturbe la migration, les temps de contact et la compétition et donc la différenciation et production de thymocytes: on observe une accumulation de cellules T dans le thymus et leur difficulté à être exporté vers les organes lymphoïdes périphériques ce qui induirait une immunodéficience.

Altération de la migration

De même des changements de paramètres dans l'environnement des thymocytes, comme le retrait d'une chimiokine permettant normalement une migration orientée des thymocytes (attirés par cette chimiokine), provoque une migration au hasard des thymocytes, ce qui ralentit et désorganise leur trafic et interactions. Ceci induit l'effondrement du système qui ensuite se réorganise mais sans atteindre un état d'équilibre ni une production correcte en proportion et nombre des thymocytes. La dynamique est considérablement ralentie avec de fortes oscillations du nombre des différentes populations produite et sans atteindre d'état d'équilibre avec saturation du thymus.

Une autre modélisation montre comment les lymphocytes interagissent, prolifèrent, se différencient et migrent à l'intérieur d'un ganglion lymphatique de façon physiologique⁴⁸. La perturbation de la migration lymphocytaire, par l'élimination d'une molécule de surface cellulaire le récepteur de chimiokine CXCR5, induit une altération des follicules primaires et l'absence de lymphocytes dans les centres germinatifs. La taille du ganglion est aussi déterminante pour réaliser des contacts optimaux entre les cellules et aboutir à une réponse immunitaire ainsi qu'à un nombre de lymphocyte mémoire optimal, également dépendant de la quantité d'antigène⁴⁸.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17257050>.

⁴⁷ Souza-e-Silva, H., W. Savino, R. A. Feijoo and A. T. Vasconcelos (2009). "A cellular automata-based mathematical model for thymocyte development." *PLoS One* 4(12): e8233.

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=20011042

⁴⁸ Swerdlin, N. I., I. R. Cohen and D. Harel (2008). "The Lymph Node B Cell Immune Response: Dynamic Analysis In-Silico." *Proceedings of the IEEE* 96(8): 1421-1443.

Vieillesse et désorganisation

Le vieillissement induit une altération plus ou moins simultanée ou séquentielle de nombreux paramètres. Après la «construction» et l'«organisation» du système immunitaire et des répertoires lymphocytaires qui s'établit comme nous l'avons vu durant la vie foetale et néonatale, le système immunitaire se «déconstruit» au cours du vieillissement sous l'influence de l'environnement cellulaire, interne à l'individu, par sénescence, ou externe à l'individu, en conséquence des perturbations subies durant la vie qui varient d'un individu à l'autre en durée, fréquence, amplitude, niveau d'échelles biologiques atteintes... Un état d'équilibre stable n'est donc jamais atteint. Il semble que le vieillissement induit une désorganisation du système immunitaire aux niveaux moléculaires, cellulaires, populations cellulaires et organes avec une moins bonne capacité de réponse immune, de contrôle de la taille de populations cellulaires, de diversité de répertoire. Le vieillissement se traduit essentiellement par une diminution de renouvellement et de diversité du répertoire lymphocytaire qui peuvent avoir des origines moléculaire (raccourcissement des télomères, diminution des activités enzymatiques etc...) ce qui aux échelles supérieures altère les capacités de cognition et provoque l'augmentation des infections, tumeurs, auto-immunité avec l'âge au niveau de l'organisme.

Lors de mesures expérimentales chez la souris (non manipulée intentionnellement) au cours du temps (jeune à âgées) et en comparant 3 souches génétiquement différentes, nous notons une organisation typique des populations cellulaires, des répertoires, qui permettent de définir pour chaque souche ou âge une «signature» particulière qui concerne les taux de prolifération, la fréquence et nombre de lymphocytes dans les différents organes, l'expression des gènes, la diversité de leur répertoire. On a donc une fiche d'identité immunitaire qui regroupe les catégories de souris, par âge, origine génétique, organes, répertoire etc... par des classifications hiérarchiques non supervisées. Cette «signature» dépend de la génétique et des perturbations subies avec l'âge. Ainsi nous avons analysé une souche de souris qui présente un répertoire T restreint par des délétions chromosomiques naturelles, et limite le nombre de gènes des régions variables du TCR de 20 à 14 familles. Il s'avère que cette souche «vieillit» prématurément sur le plan immunologique (involution thymique plus rapide, distorsion du répertoire lymphocytaire plus rapide avec l'âge). Une étude de l'origine des sources de variabilité et de son amplitude montre qu'elle augmente avec le vieillissement du système dans les trois souches de souris (Thèse HP Pham UPMC 2013). De plus, si expérimentalement on induit une **perturbation** par la déplétion transitoire des lymphocytes en division chez cette souche, on accélère encore le vieillissement du répertoire (expansions clonales et pertes de clones) alors qu'une autre souche résiste mieux⁴⁴.

Le vieillissement: perturbation lente

Le vieillissement est en général relativement «lent». Le vieillissement du système immunitaire semblerait correspondre à une perte d'organisation et de structuration du système au niveau multi-échelle, des molécules à l'organisme⁴⁴. Des désorganisations similaires sont notés pour d'autres systèmes biologiques, perte de la structure et masse osseuse, de neurone et capacités cognitives, de la diversité de la flore intestinale ...

L'âge biologique est différent de l'âge chronologique et semble dépendre de l'état initial du système de l'historicité du système et de l'usage qui en est fait ou des perturbations subies. Par exemple le taux de production de lymphocytes T naïfs issus du thymus décline avec l'âge dès la puberté ainsi que le taux de prolifération des lymphocytes, mais il ne s'agit pas de changement brusque et le système s'adapte au cours du temps et absorbe ces variations par des compensations pour garder sa résilience jusqu'à environ la moitié de la vie de l'individu. Cependant, la désorganisation structurelle du thymus (perte de l'organisation en pattern, invasion d'adipocytes etc...) induit la baisse de diversité du répertoire lymphocytaire (molécule TCR et population cellulaire) se traduit au niveau de l'individu âgé par des augmentations des infections, cancer, maladies auto-immunes. Ainsi les répercussions de perturbations et de sénescence à une échelle infra peuvent n'apparaître que tardivement à une échelle supra. Les accumulations de perturbations en nombre ou fréquence et durée, ou des effets seuils peuvent aussi exister pour faire basculer le système.

Cependant, en cas de perturbation supplémentaire brusque et majeure, comme la déplétion transitoire des cellules en division vue plus haut, le système n'est plus capable de se régénérer correctement. On observe alors une accélération du vieillissement biologique du système avec l'occurrence d'une grande variabilité qui apparaît avec expansions ou au contraire délétions clonales partielles qui pourraient être la conséquence de bifurcation de la trajectoire des clones dans une dynamique chaotique.

De nos observations une hypothèse émerge: **un répertoire ayant une diversité limitée vieillit prématurément.**

Déterminisme, aléatoire, boucle de rétroaction: chao et bifurcations

Contrairement aux systèmes déterministes et prédictibles décrits et postulés par Laplace, les approches déterministes non linéaires laissent place au hasard sous forme d'imprédictibilité, tel que montré par Poincaré. Si le système est régulé par des boucles de rétroaction, on observe des oscillations. Les systèmes chaotiques, oscillatoires ont une dynamique relativement stationnaire (attracteur) mais irrégulière, peu de degré de liberté et le «bruit» joue un rôle mineur. Des circuits positifs sont une condition pour avoir plusieurs attracteurs. Des circuits négatifs sont responsables de la stabilité de la trajectoire. La trajectoire dynamique de système chaotique est dépendante des conditions initiales: une variation imperceptible des conditions initiales peu aboutir à une trajectoire très différente lors d'une bifurcation. Si d'autre part, le système est aléatoire, non rythmique et dans une échelle infinie (scale free) et multi-échelle on a un système de type fractal. Les systèmes vivants étant une composition de déterminisme non linéaire, de boucles de rétro-action et d'aléatoire cela complique leur compréhension et leur modélisation⁴⁹.

Caractère fractal de l'immunocomplexité : additions et multiplications à des niveaux multi-échelle

La **structure branchée «self-similaire» fractale** est évidente pour les systèmes neurologique, respiratoire ou cardiovasculaire par exemple. Cette conception fractale permet la distribution des ressources, de l'énergie et de l'information jusqu'au niveau de l'ADN où les gènes sont exprimés en protéines fractales⁵⁰.

Les structures fractales sont des systèmes intriqués, multidimensionnels, basés sur des additions et des multiplications d'entités et de processus. Cela forme des réseaux qui peuvent avoir des liens verticaux (entre entités de différents niveaux biologiques) et des liens horizontaux (entre entités du même niveau). Les processus sont différents pour chaque niveau d'organisation du fait de cycles opérant sur des échelles spatio-temporelle différentes.

L'immuno-complexité tient selon la vision des systèmes complexes à 2 facteurs complémentaires

- (i) Une cascade de divisions qui met en évidence l'histoire d'une cellule par une généalogie. Cette généalogie conduit à la mise en place d'un répertoire diversifié;
- (ii) le couplage entre les principes:
 - d'addition (diversification des immuno-récepteurs T et B, de composants humoraux ou cellulaires et des lignages effecteurs auxiliaires/cytotoxiques ou régulateurs permettant le contrôle des autres cellules)
 - de multiplications liées à la prolifération cellulaire clonale ou polyclonale (spécifique ou non de l'immuno-récepteur), aux réponses anamnestiques, sélections/décisions, duales d'effets (survie ou mort; état quiescent ou fonction activée);
 - des principes d'universalisation mixant des grandeurs extensives (énergie mise en œuvre pour la sélection des clones adéquats) et des grandeurs intensives (sélectivité de l'attaque, rapidité et intensité de la réponse puis régulation, mémoire) au travers des couplages dans les cascades généalogiques. Cette universalité tient à la multiplicité entre la nature des ensembles cellulaires et moléculaires et le champ des relations qui les unit et des processus qui les dirigent.

L'organisation fractale et intriquée du système immunitaire peut être représentée par la diversité hiérarchisée et emboîtée de l'organisme à la molécule et les rythmes biologiques de ces différents niveaux, ainsi que l'évolution avec l'âge.

Modélisation non linéaire et boucles de rétroaction lors de réponse immunitaire

La simulation d'une réponse immunitaire repose sur des boucles de rétroaction positives et négatives qui engendrent un comportement non linéaire oscillatoire de la dynamique des différentes populations au cours du temps. Le cas simple de simulation de 2 clones de populations lymphocytaires de fonction T helper et régulateur en interaction et compétition avec des affinités très différentes avec une seule cytokine régulatrice (Interleukine -2) montre déjà la complexité des réponses dynamiques oscillatoires obtenues qui permettent de simuler l'expansion cellulaire lors d'une stimulation antigénique puis la contraction des clones pour réguler la réponse immunitaire⁵¹. Dans la réalité on a une multitude de populations et de clones avec des phénotypes et

⁴⁹ Gao, J., J. Hu and W. W. Tung (2011). "Facilitating joint chaos and fractal analysis of biosignals through nonlinear adaptive filtering." *PLoS One* 6(9): e24331.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21915312>

⁵⁰ Bentley, P. and J. Timmis (2004). *A fractal immune network*. ICARIS 2004, Springer-Verlag.

⁵¹ Almeida, A. R., I. F. Amado, J. Reynolds, J. Berges, G. Lythe, C. Molina-Paris and A. A. Freitas (2012). "Quorum-Sensing in CD4(+) T Cell Homeostasis: A Hypothesis and a Model." *Front Immunol* 3: 125.

fonctions diverses et de cytokines qui interagissent et de chimiokines qui guident la migration depuis un site inflammatoire vers un ganglion où s'opère la réponse immune, donc la dynamique est beaucoup plus compliquée. Une modification légère des concentrations dynamiques relatives de T helper et T régulateur ou des cytokines produites ou du métabolisme impliqué dans la différenciation des lymphocytes peut donc engendrer des variations importantes dans le comportement du système et aboutir à des pathologies, en particulier auto-immunes. Inversement l'injection de faibles doses d'interleukine-2 ou de T régulateur permettent de préserver un répertoire plus diversifié au cours du vieillissement. On observe donc le résultat d'un comportement chaotique avec des bifurcations subites imprévisibles et des changements possibles d'attracteurs.

Rythmes biologiques et attracteurs

Au cours du temps, on peut considérer qu'il existe des rythmes biologiques, des niveaux moléculaires au niveau des populations de cellules et aussi de l'individu qui évoluent sur des échelles de temps et aussi d'espace différentes. Schématiquement on peut imaginer des oscillations dans chaque « niche », représentant un clone de lymphocyte: les cellules passent par diverses phases de cycle cellulaire, d'activation (changement de taille cellulaire), de prolifération en fonction des concentrations antigéniques rencontrées. La durée des cycles sont différentes selon le niveau biologique (plus rapide au niveau moléculaire qu'au niveau de l'organisme). La variabilité des oscillations augmente après des perturbations ou au cours du vieillissement suggérant un comportement chaotique imprévisible et même des bifurcations et « sortie » des attracteurs vers des situations irréversibles. Ce type de comportement pourrait expliquer les expansions ou effondrements de certains clones de lymphocytes observés au cours du vieillissement, alors que l'on observait une stabilité relative sur la première moitié de la durée de vie de l'individu. L'introduction de hasard et de variabilité dans le système au cours du vieillissement par perte d'efficacité du système dissipatif (accumulation d'adipocytes, relâchement tridimensionnel) et stimulations chroniques (infection virales chroniques) augmenterait la fragilité du système et les risques immunologiques.

Le système immunitaire de l'individu âgé semble donc moins robuste aux perturbations. On peut considérer que le système sort des attracteurs stables pour aller dans des attracteurs instables (expansions clonales ou délétions clonales) qui au début du vieillissement sont instables mais qui en fin de vie apparaissent difficilement réversibles⁵².

Système dissipatif et organisation branchée du système immunitaire

La cellule œuf, avec son historicité, est déjà un système organisé, hiérarchisé, dissipatif par diffusion, permettant d'effectuer un métabolisme, des divisions et différenciations cellulaires algorithmiques en interface avec un contexte biologique environnemental contraint (la mère et l'influence de son système immunitaire chez les vivipares) et un contexte de diversité d'antigènes estimé à 10^{18} . C'est l'ensemble du système code génétique, contraintes physiques structurales et variabilité qui vont permettre la différenciation des cellules et l'organisation des tissus et organes dans un individu avec dissipation de l'énergie par distribution.

Les capacités cognitives d'apprentissage et de mémorisation permettent au système immunitaire la perception de l'identité microscopique de l'environnement et la conservation de l'intégrité de l'organisme. Ici c'est la transmission d'information qui circule via le métabolisme déclenché par des signaux intracellulaires qui vont remonter jusqu'au niveau des organes. L'organisme est donc le résultat d'une auto-organisation d'éléments hiérarchisés et très diversifiés et de processus de sélection au cours de l'évolution et de l'ontogénie dans le temps et dans l'espace. Cette auto-organisation de l'organisme répond à la dissipation nécessaire d'énergie, obéissant aux lois d'échelle de l'allométrie⁵³ initialement proposée par Kleiber, aussi pour le système immunitaire⁵⁴. La structuration du système repose sur différents niveaux d'organisation biologique avec des entités subissant des processus dynamiques irréversibles dans un système contraint.

Le caractère multi-échelle du système organisationnel dissipatif et branché est observé lors des divisions cellulaires et dans la différenciation et spécialisation des tissus et organes et relation avec les réseaux qui

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22654881>

⁵² Clambey, E. T., J. White, J. W. Kappler and P. Marrack (2008). "Identification of two major types of age-associated CD8 clonal expansions with highly divergent properties." *Proc Natl Acad Sci U S A* 105(35): 12997-13002.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18728183>

⁵³ Longo, G. and M. Montévil (2013). *Perspectives on organisms: biological time, symmetries and singularities*, Springer.

⁵⁴ Wiegand, F. W. and A. S. Perelson (2004). "Some scaling principles for the immune system." *Immunol Cell Biol* 82(2): 127-131.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15061763>

s'établissent. Cette organisation hiérarchisée s'appuie sur l'historicité du système et la dissipation d'énergie à chaque niveau donc le trajet parcouru dans l'espace-temps.

La dynamique des cycles est propre à chaque niveau, avec des dynamiques et des cycles en général plus rapides aux échelles spatiales micrométriques. Le système immunitaire peut être décrit et modélisé en s'appuyant sur les ontologies d'entités et de processus impliqués dans cette hiérarchie branchée. Le répertoire immunitaire est aussi issu d'une organisation «fractal-like», et établit la cognition de l'environnement antigénique, lui-même fractal du fait de la diversité des espèces vivantes ou du régime protéique qui représente la principale source antigénique. La structure fractale de l'interface entre immuno-récepteur via l'expression protéique de la région hypervariable CDR3 de chaque immuno-récepteur permet, par un système ouvert, une optimisation de la surface d'échange pour la cognition et la réception de l'information apportée par les antigènes, dans le volume contraint de l'organisme. L'entropie (diversité) du système immunitaire se forme face à l'anti-entropie (diversité) du système antigénique, par une régulation énergétique complémentaire de chaque système. Des modifications du code génétique, des niveaux d'organisation ou du milieu ou de l'environnement antigénique peuvent donc interférer le comportement de l'organisme.

Conclusions

Conservation des systèmes vivants et caractéristiques d'une organisation

Nous avons vu que le système immunitaire est le produit de l'évolution et le résultat d'une auto-organisation multi-échelle, **d'éléments décentralisés et très diversifiés** et de processus de sélection au cours de l'évolution dans le temps et dans l'espace permettant d'assurer la fonction de maintien d'intégrité de l'organisme qui l'héberge et la transmission de l'historicité du système aux descendants. Comme questionné précédemment ¹², on peut se demander **si la diversité est «permise» par un système organisé ou si c'est la diversité qui dirige l'organisation du système?**

Cette organisation est basée sur des **processus conservatifs** (gènes, historicité...) qui assurent des contraintes, mais la diversité et la sélection clonale sont aussi maintenues par des **événements aléatoires internes et externes au système**. Nous proposons que la **frontière fractale du système**, dynamique et en «déformation» permanente selon les perturbations permet de les compenser pour conserver l'organisation auto-structurée (autopoietic organisation⁵⁵). Le système immunitaire dynamique en réseau change donc d'état en permanence face aux perturbations liées à de l'aléatoire et à un déterminisme structural évolutif ⁵⁶. Ce système réactif aux **perturbations** est relativement robuste et **résilient**. A l'issue de nos réflexions une question est: la diversité est-elle un pré-requis pour la longévité et stabilité d'un système ?

Un **système hiérarchisé fractal** devrait donc être plus résistant aux perturbations: en effet avec un système arborescent il existe des chemins multiples qui s'additionnent et se multiplient pour effectuer une même fonction. Le système évolue donc en fonction de sa structure propre et celle de l'environnement. Cependant le **vieillessement** du système lié à la **perte de la dissipation d'énergie, entraîne une perte de diversité** moléculaire des immuno-récepteurs et de dynamisme de renouvellement des populations cellulaires du système. Cette **désorganisation** semble contribuer à sa **fragilité et la perte de résilience du système, en particulier lors de perturbation importante, pourtant compensées rapidement dans un système jeune**.

Rupture du micro au macro, du local au global

Bien que le système immunitaire soit un système observé à l'échelle « micro » le comportement et les propriétés du système multi-échelles observé peuvent s'appliquer à des échelles macro de temps et d'espace. Ainsi les changements à l'échelle moléculaire (secondes) influencent le comportement cellulaire local (heures) ou global et l'émergence d'un comportement collectif de populations cellulaires (jours) qui détermine, oriente le comportement global du système immunitaire (semaines) qui va lui-même déterminer la conservation ou non de l'identité et intégrité de l'individu (mois, années), lui-même intégré dans un système social (décennies) et écologique (siècle, millénaire). Dans l'autre sens, les changements subis par l'environnement dans lequel nous vivons, comme l'introduction de produits chimiques, allergènes, particules infectieuses, stress, produits biotechnologiques, mais aussi l'environnement extra et intra cellulaire, vieillissement, sénescence cellulaire et

⁵⁵ Maturana, H. R. and F. J. Varela (1980). *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*, D Reidel Pub Co. *ibid*.

⁵⁶ Vaz, N. M., G. C. Ramos, V. Pordeus and C. R. Carvalho (2006). "The conservative physiology of the immune system. A non-metaphoric approach to immunological activity." *Clin Dev Immunol* 13(2-4): 133-142.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17162356>

moléculaire, perte de dissipation d'énergie, stockage d'adipocytes vont influencer la réponse cellulaire et moléculaire et l'orienter vers des réponses de type inflammatoire.

D'après la théorie de la discontinuité les changements rapides semblent déterminer l'issue de la réactivité ou non du système. Comme les échelles de temps sont très diverses, un «changement rapide» à l'échelle moléculaire (réaction enzymatique ou flux calcique en quelques secondes) ou écologique (changement climatique, disparition ou apparition d'espèces au cours des siècles) s'opérera dans un laps de temps relatif à l'échelle du niveau spatial considéré. Pour considérer une perturbation et la capacité du système à maintenir une résilience il faut donc considérer, l'espace et le temps physique. Dans les systèmes dissipatifs il faut de plus ajouter le temps biologique car l'usure du système dépend de sa taille, elle est plus rapide pour une souris que pour un éléphant. Elle dépend donc des conditions initiales qui ne sont pas issues du hasard mais dépendent de l'historicité du système: (i) génétiques, (ii) l'environnement du système (iii) sa connectivité (iv) sa dynamique de renouvellement (v) de la capacité d'addition et de multiplication du système permettant une flexibilité et adaptation (plusieurs chemins possibles, mais avec des contraintes). On a donc une dynamique non linéaire avec un temps complexe en évolution permanente mais non constante, et des effets non prévisibles. Dans ces systèmes il existe des bifurcations dont on ne peut prévoir l'occurrence dans le temps ni l'état atteint, puisque cela dépend de changements imperceptibles des conditions initiales (plusieurs chiffres après la virgule). On ne peut donc prévoir la durée de résilience d'un système qui peut subir un brusque changement d'état.

On a vu quelques analogies avec les systèmes écologiques (populations, diversité, dynamique, migration, compétition...) qui peuvent s'étendre aux systèmes sociaux. Un point commun à la conservation des systèmes dissipatifs semble être non la pérennité des éléments, mais celle de la structure et des interactions entre éléments dans le temps.

L'extrapolation à l'utilisation d'OGM dans la nature suggère qu'un changement brutal dans la bio-diversité, les populations, les interactions entre individus, vont modifier les aspects de compétitions migration et l'organisation spatiale des systèmes qui ne peuvent absorber les variations qu'au cours du temps et non de façon brutale. Les taux de régénération d'un système dépendent des ressources et de leur renouvellement. On retrouve une analogie avec le vieillissement du système immunitaire: l'involution du thymus (diminution de la production de lymphocytes naïfs avec un répertoire diversifié) et l'apparition brutale de disparitions ou d'expansions clonales de lymphocytes CD8 qui peuvent avoir des causes internes ou externes à la cellule. Cette variabilité limite la diversité d'immuno-récepteurs disponibles sur les lymphocytes et la capacité de réponse aux antigènes, provoquant la perte d'organisation et de structure du système et engendrant son inefficacité pour le maintien de l'intégrité de l'organisme. Au travers des échelles écologiques et sociales, la dégradation du renouvellement et de l'abondance des ressources ou de la migration temporo-spatiale peut influencer la robustesse et la résilience du système à absorber des chocs⁵⁷. D'autres analyses liées à la dégradation de l'environnement (ressources limitées) montre un changement qualitatif du système dynamique de la régénération des individus précédé par une augmentation de la variabilité du système (early warning signal) qui alerte précocement sur un changement brutal ou une extinction⁵⁸.

Dans l'ensemble de ces systèmes on peut donc considérer que la prise en compte de modifications de l'environnement ou de migration à un niveau local et global pourrait permettre d'éviter la dégradation du système de façon irréversible.

⁵⁷ Anderies, J. M. and M. Hegmon (2011). "Robustness and resilience across scales: migration and resource degradation in the prehistoric US southwest." *Ecology and Society* 16(2): 22
<http://www.academia.edu/download/30251288/ES-2010-3825.pdf>.

⁵⁸ Drake, J. M. and B. D. Griffen (2010). "Early warning signals of extinction in deteriorating environments." *Nature* 467(7314): 456-459.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20827269>

Contribution de

Léo Coutellec

**« Critiques de l'évaluation standard, éléments
pour une évaluation non-standard »**

« Critiques de l'évaluation standard, éléments pour une évaluation non-standard »

CONTRIBUTION DE LEO COUTELLE AU PROJET DE RECHERCHE EVAGLO

Chercheur en épistémologie et éthique des sciences et techniques contemporaines, Espace éthique Ile de France, Université Paris Sud, EA 1610 « Études sur les sciences et techniques »

RESUME

L'évaluation standard se reconnaît principalement selon quatre caractéristiques : elle a besoin d'un principe organisateur qui sert d'étalon de la standardisation du processus évaluatif (pour l'évaluation des techniques, ce principe est la « centralité du concept de risque ») ; elle est intolérante à l'incertitude ; elle reste aveugle aux paramètres non quantifiables ; elle est causaliste. Ce que nous appelons « évaluation non-standard » est d'abord une analyse solide de ces caractéristiques puis un ensemble de propositions qui visent à ouvrir un espace de pensée pour une évaluation plurielle, humaine, tolérant l'incertitude et le complexe. Cette évaluation non-standard est une tentative de dépasser la casuistique de l'évaluation (l'évaluation « cas par cas ») sans pour autant tomber dans un universel abstrait effaçant toute particularité.

PLAN

1°/ Quelques caractéristiques de l'évaluation standard

- 1-a La centralité problématique du concept de risque
- 1-b L'intolérance à l'incertitude dans l'analyse des risques
- 1-c Une pensée essentiellement quantitative ou l'exclusion de l'éthique

2°/ Éléments pour une évaluation non-standard

- 2-a Les n-sources du non-standard
- 2-b Ré-encadrer le pluralisme hétérogène dans l'évaluation
- 2-c L'évaluation non-standard ou la tolérance à l'incertitude comme valeur
- 2-d L'évaluation non-standard, un questionnement axiologique et téléologique

1°/ Quelques caractéristiques de l'évaluation standard

1-a La centralité problématique du concept de risque

La centralité du concept de risque dans les évaluations scientifiques et techniques a été diversement remarquée dans la littérature contemporaine. L'évaluation standard s'appuie sur l'étalon du risque pour construire sa méthodologie. Commençons par détailler l'ampleur de la centralité du concept de risque d'un point de vue général.

Au moins depuis les années 1990, un courant d'idée s'articule autour de la notion de risque et de quelques intellectuels comme François Ewald, Ulrich Beck¹ ou encore Anthony Giddens². Se revendiquant d'une « troisième voie » entre l'État et le marché, ce courant fait du concept de risque un nouveau paradigme, voire même le nouvel épistémè de notre époque. Pour Ewald, « la société du risque est une société qui se caractérise par le fait qu'elle se réfléchit, qu'elle pense ses problèmes comme des risques » ; c'est une société qui pense tout événement comme un risque³. La technologie du risque deviendrait le principe d'organisation de la politique scientifique et technique, de la politique en général, voire même d'une économie politique du risque – une nouvelle forme de « gouvernementalité⁴ » des individus. Pour Ewald, « le risque est le point singulier où la

1 Ulrich Beck, *La Société du risque*, Flammarion, 2001.

2 Anthony Giddens, *Les Conséquences de la modernité*, L'Harmattan, 1994.

3 François Ewald et Denis Kessler, Les noces du risque et de la politique, *Le Débat*, n° 109, 2000, pp. 55-72

4 Il s'agit d'un concept créé par Michel Foucault. La gouvernementalité est une certaine forme de rationalité du gouvernement de la population. Ewald fut assistant de Foucault au Collège de France. Sur la

société contemporaine se problématise, s'analyse, cherche ses valeurs et peut-être reconnaît ses limites⁵». Pour Patrick Peretti-Watel et Jean-Paul Moatti, «le risque ne désigne pas une catégorie figée : tout peut devenir un risque. C'est à la fois une attitude, tournée vers un avenir à maîtriser, et un mode d'appréhension du réel, qui conçoit les obstacles futurs comme des accidents⁶». Avec la modernité tardive, nous assisterions à une mise en risque du monde dans laquelle le risque serait «devenu le concept-clé susceptible de définir les nouvelles relations entre l'Homme et le monde», et ainsi toute activité humaine se définirait désormais à l'aune du risque⁷.

Ce qui s'est popularisé sous le vocable de « société du risque » peut revêtir les habits de l'idéologie lorsque le concept de risque est conçu comme une mesure à la fois anthropologique, sociale, morale et cognitive. Détaillons chacun de ces aspects.

Le risque comme mesure anthropologique, sociale et morale

Ce que l'on pourrait appeler un paradigme du risque est plutôt associé par certains auteurs à une «idéologie du risque» dont l'une des caractéristiques plus ou moins assumée est d'ordre anthropologique et correspond à une certaine conception de l'individu ; et plus précisément à «une conception exigeante de l'individu, gestionnaire avisé de sa trajectoire de vie, un individu sommé de se prendre davantage en charge – c'est-à-dire de ne pas rester à la charge des autres⁸». Cet individu doit soutenir son comportement par l'appui de la science experte, des probabilités et des mesures à sa disposition, sans forcément connaître ni maîtriser les conventions de ces mesures. En d'autres termes, faire du risque le concept central de nos sociétés revient à promouvoir un transfert généralisé de responsabilité de la société vers l'individu. Le risque devient la traduction opérationnelle du principe selon lequel l'individu est appelé à «maximiser son utilité⁹». Cette notion de risque, liée à une «conception de l'Homme et de la société qui met l'accent sur l'autonomie et la responsabilité de chacun¹⁰» s'inscrit dans un cadre plus large que Giddens thématise sous le nom de «culture du risque» et Beck de «société du risque» :

Selon Giddens, nous vivons dans une société non plus orientée vers le passé mais vers l'avenir, au sein de laquelle les individus sont de plus en plus autonomes et incités à prendre leur destin en main, à gérer eux-mêmes au quotidien leur trajectoire biographique, à devenir les entrepreneurs de leur propre existence. Nous sommes exhortés à anticiper notre avenir, à «coloniser» le futur, en restant attentifs aux risques et aux opportunités qu'il recèle, à prendre aujourd'hui les décisions qui assureront notre bien-être demain, en nous appuyant sur des savoirs experts qui fournissent des chiffres pour nous guider. Cette «mise en risque» touche tous les aspects de notre quotidien : carrière professionnelle, couple et famille, santé, etc.¹¹

dimension politique des travaux de Ewald sur le risque et ses liens avec Denis Kessler qui fut vice-président du MEDEF, voir : Yoshihiko Ichida, *Le front populaire du risque*, Multitudes, n°8, mars-avril 2002

5 François Ewald, «Le risque de la société contemporaine», in Université de tous les savoirs, *L'Individu dans la société d'aujourd'hui*, Odile Jacob, 2002, p. 9-24.

6 Patrick Peretti-Watel & Jean-Paul Moatti, *Le Principe de prévention*, Seuil, 2009, p. 18.

7 Céline Kermisch et Gilbert Hottois (dir.), *Techniques et philosophies des risques*, Vrin, 2007.

8 Michel Kokoreff & Jacques Rodriguez, *La France en mutations. Quand l'incertitude fait société*, Payot, 2004, p. 276.

9 La critique de cette conception de l'Homme comme *homo œconomicus* mettant en œuvre une rationalité instrumentale est l'objet de nombreuses études critiques. Par exemple, voir Christian Laval, *L'Homme économique. Essai sur les racines du néolibéralisme*, Gallimard, 2007 ; Pierre Dardot & Christian Laval, *La nouvelle raison du monde. Essai sur la société néolibérale*, La Découverte, 2009 ; Jon Elster, *Le Désintéressement. Traité critique de l'homme économique*, tome 1, Seuil, 2009. Elster, dans cet ouvrage, s'attaque à ce postulat anthropologique fondamental des sociétés libérales selon lequel l'Homme serait «un agent dont les choix traduiraient la poursuite rationnelle de son intérêt». En se détachant de tout présupposé, il démontre que les motivations désintéressées sont plus importantes dans la vie sociale que ne le conçoivent les modèles économiques aujourd'hui dominants. Ainsi, les modèles et théories économiques dominants, enfermés par des fondements devenus implicites, ne respecteraient pas l'exigence de l'adéquation empirique.

10 Peretti-Watel & Moatti, op. cit., 2009, p. 22.

11 Patrick Peretti-Watel, «La culture du risque, ses marqueurs sociaux et ses paradoxes : une exploration empirique», *Revue économique*, 56.2, 2005, p. 371-392 @.

Le risque de la société du risque prétend aussi se substituer à l'éthique. Ou, plus précisément, en tant qu'outils, le risque entend réduire l'éthique à ses aspects utilitaristes. Il devient un outil pour mesurer la valeur des valeurs, comme l'affirme Ewald¹². Il s'agirait d'une nouvelle éthique de l'action à l'époque du « *nouvel esprit du capitalisme* »¹³. Le risque se substituant à l'éthique devient aussi une nouvelle morale de la responsabilité – mais selon une conception de la responsabilité en contradiction avec l'acception contemporaine de celle-ci, qui fut initiée avec la notion de « *développement soutenable* »¹⁴. Selon celle-ci, la complexité de la société contemporaine et de ses rapports avec la science exige de passer d'une responsabilité individuelle, à court terme et envers des entités identifiées et réelles, à une responsabilité collective, à long terme et dont les destinataires ne sont pas obligatoirement connus.

Le risque comme « figure technique de la peur »

Nous faisons l'hypothèse qu'une conséquence indirecte de l'idéologisation du risque¹⁵ est la surdétermination du thème de la peur. Dans la société du risque, la peur devient à la fois vecteur de cohésion dans le sens où nous serions solidaires dans la peur. Comme le dit Beck, « *la communauté de peur vient se substituer à la communauté de la misère. En ce sens la société du risque est caractéristique d'une époque sociale où se forge une solidarité dans la peur, laquelle devient une force politique* »¹⁶. Et vecteur de séparation dans le sens où la figure de la peur est convoquée pour discréditer un public « *obscurantiste* »¹⁷ qui ne comprend pas la science¹⁸. La thématique de la peur semble donc étroitement liée à la thématique du risque¹⁹. S'ensuit des raisonnements paradoxaux de type : alors que le risque est surdéterminé comme concept organisateur complet, la peur est présentée comme une posture illégitime découlant de l'ignorance. Ne voit-on pas que c'est précisément parce que le risque ne laisse plus de place à une pensée assumée et consciente de l'incertitude que les peurs exacerbées deviennent les corollaires logiques de la société du risque ? Ne pourrait-on pas dire que le risque de la société du risque se présente comme la figure technique de la peur ?

Les débats, souvent assez vifs, sur le principe de précaution relèvent à notre avis de cette surdétermination du concept de risque et de son association volontaire ou involontaire à la thématique de la peur. Malgré la définition institutionnelle s'y rapportant, l'approche précautionneuse peut se penser dans un espace ne se réduisant pas à l'opposition entre « prise de risque » et « prise de recul ». L'approche précautionneuse, selon nous, se rapporte plutôt à ce que nous appelons l'intégrité des sciences. En ce sens, la précaution n'est plus seulement un principe pour réguler des pratiques mais aussi, et surtout, une démarche pour réinterroger des pratiques.

Le risque comme mesure cognitive

Le paradigme du risque fait de l'économie le « *savoir dominant* » de l'époque contemporaine : « *Le fait que l'épistémè moderne soit une épistémè du risque conduit l'économie à devenir la discipline dominante parmi les sciences humaines* »²⁰. Inversement, la capacité de gestion et le goût du risque (mesuré) et de prévision deviennent les guides de notre système économique. L'évaluation et la gestion des risques se concentrent autour de certaines disciplines, selon des méthodes très spécifiques et en sélectionnant les paramètres à considérer. Là aussi, ce mouvement s'inscrit dans un style de raisonnement particulier, que nous pouvons appeler la logique assurantielle comme rationalité du risque. Comme le souligne Carole Levasseur, la problématique du risque est associée à un mode de raisonnement tout à fait particulier : le raisonnement probabiliste²¹. L'omniprésence de la thématique du risque acte un certain « *totalitarisme des perspectives probabilistes* »²². L'insertion d'une

12 François Ewald et Denis Kessler, op. cit., 2000, p. 68.

13 Que nous concevons donc comme la prétention à devenir mesure complète et organisatrice de nos sociétés.

14 Beck, op. cit., 2001, p. 90.

15 Les deux livres suivants sont de bons exemples de cette tendance : Dominique Lecourt, *Contre la peur*, PUF, 2011 ; Jean de Kervasdoué, *La Peur est au-dessus de nos moyens. Pour en finir avec le principe de précaution*, Plon, 2011.

16 Certaines études sur les nouvelles peurs modernes apportent des arguments à cette hypothèse. Voir par exemple Denis Duclos, « *Raisons et déraisons d'une "psychose"* », Le Monde diplomatique, décembre 2000 @.

17 Ewald, op. cit., 2002, p. 68.

18 Carole Levasseur, *Incertitude, pouvoir et résistances : les enjeux du politique dans la modernité*, Presses de l'université Laval, 2006, p. 181.

19 Voir : Alain Desrosières. *Prouver et gouverner*. La Découvertes, 2014 ; Alain Abelhauser, Roland Gori & Marie-Jean Sauret. *La folie évaluation. Les nouvelles fabriques de la servitude*, Mille et une nuits, 2011

innovation dans la société ne se présente alors plus que comme une « prise de risque ». Cette surdétermination de la place et du statut de la notion de risque se manifeste directement avec l'analyse des innovations techniques et scientifiques où le risque est la mesure cognitive centrale. Ce que nous appelons l'évaluation standard est directement liée à cette conception du risque comme mesure cognitive pour penser le monde.

Détaillons un peu cet aspect, ce qui nous permettra d'avancer sur la place et le statut de l'incertitude dans un tel contexte.

1-b L'intolérance à l'incertitude dans l'analyse des risques

La conception du risque comme mesure hégémonique (à la fois sociale, anthropologique et cognitive) se manifeste de façon considérable dans ce que nous appellerons l'analyse classique des risques – figure récurrente de l'évaluation standard – à la fois linéaire et binaire. En effet, l'évaluation des innovations technologiques s'organise essentiellement aujourd'hui autour de cette notion, devenue centrale, de risque²⁰. Il s'agit d'une approche qui sous-entend que les sciences expertes, de l'ordre de la théorie et des faits, sont en mesure d'identifier, d'objectiver et de quantifier les risques. Il s'agit alors d'opérer une analyse de ces risques selon la démarche connue et largement pratiquée : identifier, quantifier, estimer puis évaluer, gérer et communiquer sur les risques. Dominante, cette approche se fonde sur une vision positiviste de l'analyse des techniques selon le schéma binaire suivant : une identification-quantification-estimation des risques par la science et les experts et une évaluation-gestion-communication par la politique²¹. Cette approche, qui « pose une distinction entre l'objectivation des risques d'un côté et leur évaluation-gestion de l'autre [...], implique un clivage entre le travail scientifique et technique d'identification et de quantification du risque d'une part, et le travail social, éthique et politique, d'évaluation et de prise de décision quant au risque, d'autre part²² ». Si cette approche a le mérite d'être opératoire – dans un champ de validité restreint – elle présuppose que « les sciences, aidées du calcul probabiliste et de la statistique, se chargeraient essentiellement de découvrir le risque et de le quantifier, comme si celui-ci constituait une réalité objective antérieure aux procédures de sa mise en évidence²³ ».

De ce schéma naît une science du risque qui opère une sélection des paramètres, des causes et délimite son territoire, agissant ainsi comme un opérateur de clivage et de réduction. Déconnectée de la gestion et de la communication, cette science se veut être neutre, objective et impartiale. Dans cette perspective, l'objectivité de l'identification et de l'estimation des risques garantit la rationalité, voire même l'intégrité, d'une évaluation spécifique.

Cette approche a deux conséquences principales pour l'incertitude : soit elle est réduite à un risque probabilisable, soit elle relève du subjectif, du politique ou du social. L'incertitude est absente de la première phase, contractée comme un risque (parfois appelé incertitude probabilisée, ce qui est un contresens), et elle intervient avec plus ou moins de force dans la deuxième comme incertitude sociale et politique.

Que faire alors du message de Frank Knight et John Maynard Keynes selon lequel « l'incertitude est souveraine, son existence impose au théoricien une règle : toute simplification est dangereuse. Il n'existe pas d'outil magique permettant de saisir toute la complexité d'un monde incertain, le raisonnement probabiliste n'a qu'une capacité limitée à rendre compte de phénomènes incertains et de la façon dont les êtres humains font des prévisions. Ne faites pas une confiance aveugle aux probabilités. Ne prêtez pas aux agents économiques qui les utiliseraient une clairvoyance divine²⁴ » ? Parler de risque c'est prendre acte que toute évaluation est quantification. La convention de mesure implicite de cette quantification est la centralité du risque lui-même²⁵. Avec ce dernier, la mesure comme moyen devient aussi une fin.

20 Olivier Godard et al., *Traité des nouveaux risques*, Gallimard, 2003.

21 Florence Caemex, « Risquer, gérer, sécuriser : techniques politiques de la modernité », Techniques et philosophie des risques (conférence), Centre de recherches interdisciplinaires en bioéthique (CRIB) de l'Université libre de Bruxelles, 2006 @.

22 Ibid.

23 Kermisch & Hottois, op. cit., 2007, p. 113.

24 Nathalie Moureau & Dorothée Rivaud-Danset, *L'Incertain dans les théories économiques*, La Découverte, 2004, p. 19.

25 Il s'agit de l'un des problèmes posés par l'utilisation systématique de l'analyse coût/bénéfice (ACB). Le principe de l'ACB est de considérer comme robuste et rationnel le fait de réaliser toutes les décisions dont les bénéfices sont supérieurs aux coûts (Nicolas Treich, « L'analyse coût-bénéfice de la prévention des risques », document de travail, LERNA-INRA, université de Toulouse, 2005, p. 7 @). Mais l'ACB présuppose qu'il est possible d'associer une valeur quantifiée à tout bien ou à exclure ce que l'on ne pourrait mesurer.

1-c Une pensée essentiellement quantitative ou l'exclusion de l'éthique

Notre propos n'est pas de dire qu'il faudrait se passer de la notion de risque et de ses outils dans le cadre des analyses de risque²⁶. Mais nous postulons que l'évaluation éthique ne peut se réduire à une analyse des risques et que cette dernière, pour composer et être complémentaire à la première, doit évoluer²⁷. Nous montrons ici brièvement que l'éthique est tout simplement exclue de l'analyse classique des risques. En effet, dans ce cadre, la possibilité d'une objectivation des risques (ou de facteurs de risque) et des incertitudes qui soit collective, contradictoire et conflictuelle, faisant ainsi jouer science et éthique, en amont, dès l'identification des dangers, et non plus au seul niveau de leur gestion, de leur « négociation » ou de leur acceptabilité, se trouve exclue. Dans un tel cadre, certaines valeurs sont explicitement exclues (notamment les valeurs non-épistémiques). D'autres, sont bien présentes mais non explicitées. Nous mobilisons le travail de la philosophe K.S. Shrader-Frechette, notamment depuis *Risk and Rationality* en 1991²⁸, pour montrer l'impossibilité d'exclure les valeurs dans les estimations des risques. Shrader-Frechette observe que trois types de valeurs – qu'elle appelle « biaisées » (ou liées à l'appréciation de l'erreur), « contextuelles » et « épistémiques »²⁹ – sont présents au moment de l'estimation des risques, mais également au moment de l'identification des facteurs de risques. Et qu'il conviendrait de les rendre explicites dans un cadre collectif.

Ainsi, selon cette philosophe, le principe qui consiste à exclure toute composante normative et évaluative (éthique ou méthodologique) du processus d'identification et d'évaluation des risques³⁰ est un facteur d'erreur³¹. Shrader-Frechette invite à se détacher de ce mécanisme qui consiste à projeter les principes de l'analyse des risques sur un implicite philosophique rarement discuté : celui qui acte la dichotomie des faits et des valeurs, selon laquelle il y aurait une division nette et impénétrable entre le royaume des faits (ce qui est) et celui des valeurs (ce qui devrait être)³².

De ce mécanisme découlent plusieurs impossibilités : celle d'un dialogue constructif et surtout démocratique entre sciences et éthiques, celle d'une identification collective et plurielle des risques et celle de la mise en jeu d'une pluralité de savoirs (y compris non scientifiques) dans l'analyse des risques. Il s'agit donc fondamentalement d'une problématique épistémologique dont les enjeux sont d'ordre éthique.

Des typologies de l'incertitude

Dans cette perspective d'ouverture à la tolérance de l'incertitude, de nombreux auteurs ont essayé d'en donner une typologie. Donnons quelques exemples. En principe, elles reprennent toutes, plus ou moins, la distinction

26 Raphaël Larrère (« Éthique, choix technologiques et choix de société », Quelle place pour la chimie dans une société durable ?, CNRS, 2009 @) a montré que cette « focalisation » sur le concept de risque n'a pas été sans intérêt. Elle a par exemple permis au Comepra (Comité d'éthique et de précaution pour la recherche agronomique de l'Inra) de reconnaître l'existence de risques intrinsèques à la transgénèse – notamment liés à l'insertion du transgène et ses conséquences imprévisibles sur interactions à l'intérieur du génome et donc l'expression de certains gènes (ne s'agit-il donc pas plus d'incertitudes que de risques ?) – et plus seulement liés à son usage.

27 Plusieurs propositions ont déjà été faites dans ce sens. Notons celle de Catherine Baudoin (« Quelle évaluation éthique des plantes transgéniques ? », in Bernadette Bensaude-Vincent et al., dir., *Bionano-éthique. Perspectives critiques sur les bionanotechnologies*, Vuibert, 2007, p. 99-112) qui propose de ne pas en rester à une analyse coût/bénéfice mais d'évaluer les transformations du monde associées à ces innovations. Ainsi, elle suggère une évaluation systémique (ou globale) qui prenne en compte les conséquences des OGM en termes de justice, de liberté et de diversité biologique.

28 K.S. Shrader-Frechette, *Risk and Rationality*, University of California Press, 1991 @.

29 Ibid., p. 39.

30 Cet aspect a été particulièrement bien documenté, dans le cas de l'évaluation des biotechnologies, par Susan Carr & Les Levidow, « How Biotechnology Regulation Separates Ethics from Risk », *Outlook on Agriculture*, 26, 1997, p. 145-150 ; Levidow & Carr, « How biotechnology regulation sets a risk/ethics boundary », *Agriculture and Human Values*, 14, 1997, p. 29-43 @.

31 On retrouve ici, en creux, le raisonnement de Helen Longino sur l'objectivité sociale.

32 Voir Hilary Putnam, *Faits/valeurs : la fin d'un dogme*, Éditions de l'Éclat, 2004. Précisons qu'une critique de la dichotomie stricte des faits et des valeurs ne postule pas forcément l'absence de distinctions entre un fait et une valeur. C'est le cas pour Putnam qui cherche à démontrer que faits et valeurs, bien que distincts, sont bien souvent enchevêtrés. Et cela ne suppose pas non plus de lien causal entre les faits et les valeurs.

classique et fondamentale affirmée en 1921 par Keynes³³ et Knight³⁴ entre l'incertitude mesurable et l'incertitude fondamentale³⁵. Autrement dit, entre d'une part le risque – qui est quantifiable, mesurable par des probabilités, assurable et qui implique que l'on connaisse toutes les situations possibles – et d'autre part l'incertitude – qui se définit par la négation de ces conditions. On la retrouve, par exemple, quelque peu actualisée, chez W.E. Walker³⁶, pour lequel il existe deux types d'incertitudes. Des incertitudes de type épistémique dues à l'imperfection de nos connaissances et donc qui pourraient être réduites par plus de recherches et d'efforts empiriques. Et des incertitudes ontologiques dues à la variabilité inhérente présente dans les systèmes complexes, notamment humains et naturels, et à propos des développements sociaux, économiques et technologiques.

D'autres auteurs mettent « l'accent sur le caractère subjectif de l'incertitude, proposant que ce concept se réfère à la situation dans laquelle les preuves concernant un changement environnemental préoccupant (pour au moins un groupe social) sont perçues comme étant peu concluantes s'agissant de sa nature, de sa grandeur et de ses mécanismes causaux³⁷ ». Ils considèrent l'incertitude comme un objet composite, à dimensions scientifiques et sociales :

L'incertitude scientifique [...] comprend une dimension quantitative (synonyme de l'inexactitude) et une dimension qualitative (liée au manque de fiabilité des méthodes ou à l'état incomplet des connaissances) ; et l'incertitude socialement déterminée, associée à la qualité de l'expertise (directement liée à la compétence, au statut institutionnel et financier et à la responsabilité de l'expert) et aux stratégies des acteurs dans le débat social³⁸.

La dimension sociale s'exprime notamment lorsqu'il y a controverse sur la qualité ou la légitimité de la preuve³⁹. Notamment à partir du moment où l'on reconnaît que la preuve proposée par les différents acteurs pour définir le problème peut contenir, implicitement, une suggestion de solution politique qui leur est avantageuse⁴⁰.

Une des caractéristiques de l'incertitude est aussi de pouvoir être présente à tous les moments du processus d'élaboration des connaissances. Il s'agit alors d'identifier sa nature et son impact selon les moments de ce processus⁴¹. Elle peut aussi agir sur la qualité de la connaissance selon ses dimensions substantives (portant sur le contenu), procédurales (portant sur le processus) et contextuelles (portant sur le contexte). Avec de telles analyses, des questions épistémologiques se posent : de quelles phases et de quelles dimensions l'incertitude est-elle dépendante ? Et de quel type est cette incertitude ?

2°/ Éléments pour une évaluation non-standard

« L'ampleur imprévisible – tant quantitative que qualitative – des conséquences et effets secondaires des actions collectives de l'homme dans le domaine de la science et de la technique fondée sur elle : voilà le trait essentiel de la situation contemporaine que l'humanité semble offrir en défi à l'éthique ».

Karl-Otto Appel

33 John Maynard Keynes, *A treatise on probability*, McMillan, 1921

34 Frank Knight, *Risk, Uncertainty and Profit*, 1921, Houghton Mifflin

35 Voir Moureau & Rivaud-Danset, *op. cit.*, 2004.

36 W.E. Walker et al., « *Defining Uncertainty. A Conceptual Basis for Uncertainty Management in Model-Based Decision Support* », *Integrated Assessment*, 4.1, 2003, p. 5-17 @.

37 Maxim et al., « *Mettre en œuvre le principe de précaution* », *Risques. Les cahiers de l'assurance*, 72, 2008, p. 93-103 @.

38 Ibid.

39 La dimension sociale de l'incertitude peut aussi s'exprimer lorsqu'il y a « *décalage entre le temps nécessaire à la compréhension des changements environnementaux potentiellement associés à une nouvelle technologie et le temps, souvent court, nécessaire au processus de décision* » (Maxim, *op. cit.*, 2008).

40 Ibid. Cet aspect est fondamental. Il renvoie à la capacité des acteurs à ouvrir les boîtes noires des implicites.

41 Ibid.

Le standard produit des référentiels standardisant. Ce que nous appelons le non-standard est l'expression d'une volonté de distance à ces référentiels standardisant. Le non-standard est un autre mode d'organisation de la pensée qui s'opère au sein d'un espace non normé, un espace dit générique. Le non-standard a n-sources dans la pensée dont certaines font l'objet des courtes descriptions qui suivent.

2-a Préambule : les n-sources du non-standard

La source (non-)philosophique du non-standard (la non-philosophie ou philosophie non-standard).

La philosophie non-standard ou non-philosophie est développée par le philosophe François Laruelle dans une œuvre importante qui se construit depuis une trentaine d'années et dont le dernier ouvrage est explicitement titré « Philosophie non-standard » (Kimé, 2010)⁴². La non-philosophie n'est pas la négation de la philosophie, son rapport à la philosophie serait plutôt celui que la géométrie non-euclidienne entretient avec la géométrie euclidienne, à savoir un prolongement. La non-philosophie fait de la non-suffisance philosophique un de ses principes et pose le pluralisme irréductible des philosophies, ce qui suppose aussi que le réel précède celles-ci. Le non-standard de la non-philosophie est un principe nouveau de fidélité à l'hétérogénéité de la philosophie et de ses corps. Dans ce cadre, l'évaluation non-standard est une non-évaluation au sens de la non-philosophie à savoir une extension de celle-ci dans un espace de forte hétérogénéité. Ce que la non-philosophie nous enseigne sur le non-standard pour l'évaluation est donc une forme de tolérance au pluriel, au divers, au multiple mais plus encore plus à l'hétérogène radical des descriptions scientifiques que l'on peut faire sur le réel.

La source socio-politique du non-standard (la critique de l'unidimensionnalité et du processus de standardisation)

L'œuvre du philosophe Herbert Marcuse est sans conteste la plus remarquable à propos de la critique de l'unidimensionnalité de ce qu'il appelle la « pensée positive ». Le grand combat théorique de ce philosophe fut de relier le principe de plaisir à celui de réalité, autrement dit les dimensions instinctuelles et culturelles. L'homme unidimensionnel est réduit pour Marcuse au principe de réalité. Les processus de rationalisation, sous prétexte de performance et de rendement, sont en réalité des machines à standardiser les comportements et la production. Or, pour Marcuse, la fonction de la raison est de promouvoir l'art de vivre, c'est à dire de reconnecter les multiples dimensions de l'existence. La pensée négative que cherche à promouvoir Marcuse dans son œuvre est en fait une forme de critique des processus de standardisation. Critique que l'on retrouvera comme thème important des travaux de ce qui s'appelle « l'école de Francfort ».

La source épistémologique (l'épistémologie générique ou non-épistémologie)

« Une description non-épistémologique des sciences [...] voilà une tâche humaine ».

François Laruelle⁴³

La source épistémologique du non-standard tient à la traduction pour l'étude des sciences de la non-philosophie ; c'est celle qui nous intéresse le plus et que nous développons. Il s'agit d'une nouvelle façon de concevoir le travail de l'épistémologie où l'un des défis fondamentaux qui s'offrent à nous est de savoir comment ne pas faire dépendre le concept de science d'une épistémologie particulière. Tel est l'axiome de base de l'épistémologie non-standard (c-a-d non-normée sur une discipline particulière qui lui servirait d'exemple ou de pivot d'argumentation ; ce qui fut très souvent le cas pour la physique dans l'épistémologie classique).

Le constat est le suivant. Il existe une multiplicité d'épistémologies (par exemple : épistémologie sociale, épistémologie des vertus, épistémologie générale et à l'intérieur de l'épistémologie générale une multiplicité de théories). I. Hacking évoque une multiplicité de cadres d'analyse épistémologique⁴⁴. Nous suggérons ici une approche qui part de ce constat tout en proposant une perspective nouvelle, appelée "non-épistémologie" ou

42 Un colloque Cerisy est organisé autour de la pensée de François Laruelle du 3 au 10 septembre 2014 au Centre Culturel International de Cerisy. Léo Coutellec y fera une intervention sous le titre « La science impliquée. L'épistémologie non-standard et l'éthique générique ».

43 François Laruelle, *En tant qu'un*, Aubier, 1991, p. 35.

44 Ian Hacking, « La stabilité des styles de pensée scientifique », cours du Collège de France, 2006 @.

« épistémologie générique » selon un concept inventé par A.-F. Schmid⁴⁵. Il s'agit d'accepter comme un fait la multiplicité des épistémologies (ou des cadres d'analyse épistémologique), de leurs objectifs et de leurs objets.

Le concept d'une non-épistémologie est inspiré de celui de la non-philosophie développé par le philosophe F. Laruelle⁴⁶. L'hypothèse d'une non-épistémologie adopte le principe de « *non-suffisance épistémologique* ». Ainsi, la multiplicité des philosophies trouve son écho dans la multiplicité des sciences.

Selon cette hypothèse, l'épistémologie ne prétend plus être la pensée de la science comme le postule la philosophie de la science. La science produit sa propre pensée. L'épistémologie, comme espace de co-existence de la science et de la philosophie, implique une condition fondamentale qui « *suppose la distinction des ordres philosophique et scientifique et ne soit pas une morale pour la philosophie ni un manque de pensée pour les sciences* »⁴⁷. La non-épistémologie postule « *un réel descriptible indirectement, de plusieurs façons, par des moyens scientifiques, philosophiques, éthiques, technologiques* »⁴⁸. C'est une façon pertinente d'assumer qu'une « *description directe de la science par la philosophie est impossible* »⁴⁹. Elle est une façon de multiplier des instruments de descriptions indirectes. Ainsi, elle nous engage sur le terrain de l'objet de l'épistémologie. L'objet de l'épistémologie n'est plus directement la science mais les séries de pluralités qui la composent et qui permettront de l'identifier. Selon A.-F. Schmid : « *Une épistémologie quantique ou une non-épistémologie porte non directement sur les sciences, mais sur les représentations que l'on forme à l'occasion des sciences. L'épistémologie met en relation et sépare des représentations à l'occasion des sciences. Par là, elle est une sorte de sens commun qui permet de passer d'une spécialité à l'autre, ou d'un ordre de pertinence à l'autre. Elle est l'élément qui permet de construire des interfaces en tout point des représentations sur les sciences* »⁵⁰. Ainsi, nous changeons de niveau, l'objet de l'épistémologie n'est plus les objets scientifiques classiques, mais les hypothèses sur les ingrédients multiples qui entrent en jeu dans la construction d'un objet⁵¹.

La non-épistémologie prend acte de l'existence d'une variété d'ordre de pertinence épistémologique, ainsi nous identifions ici ce qui sera un invariant du non-standard à savoir la distinction des ordres de grandeur. L'épistémologie non-standard est donc « *une pratique qui permet de donner une valeur aux distinctions les plus variées de l'épistémologie, à condition de comprendre qu'elle ne décrit qu'indirectement les sciences* »⁵².

La source mathématique du non-standard (l'analyse non-standard)

Nous considérons les mathématiques ici non pas comme une discipline-exemple ou comme un modèle mais comme le lieu de l'émergence de concepts. Tel en est de l'analyse non-standard que nous accueillons comme une des trois sources du non-standard. Là où la mathématique standard postule l'homogénéité absolue de l'ensemble des nombres réels, la mathématique non standard introduit des ordres de grandeur. En différenciant des ordres, l'analyse non-standard reprend les trois grands ordres de l'univers défini par Pascal – l'infiniment petit, l'humain et l'infiniment grand. De fait, l'analyse non-standard introduit la notion d'« objets insaisissables » ce qui pour nous est un élément très intéressant. Mais la référence à l'analyse non standard n'est pas l'objet de notre propos qui tire son influence plus précisément des sources philosophique, épistémologique et socio-politique du non-standard.

2-b L'évaluation non-standard ou comment ré-encadrer le pluralisme hétérogène dans l'évaluation

45 Anne-Françoise Schmid et Armand Hatchuel, « *Elements of generic Epistemology* », soumis à *Episteme, Journal of Social Epistemology*, 2014

46 François Laruelle, *Principes de la non-philosophie*, PUF, 1996.

47 Anne-Françoise Schmid, *L'âge de l'épistémologie. Science, ingénierie, éthique*, Kimé, 1998, p.27.

48 Anne-Françoise Schmid, « L'hypothèse d'une non-épistémologie », *Organisation non-philosophique internationale*, 2007 @.

49 Ibid.

50 Ibid.

51 Cette façon de concevoir le travail de l'épistémologie peut rejoindre, sur certains aspects, ce que P. Kitcher veut exprimer lorsqu'il invite à s'intéresser aux significations scientifiques et non à la science elle-même. Selon lui, c'est seulement dans ce cadre que les critiques de la neutralité de la science et les réflexions sur la place des valeurs dans les sciences peuvent avoir une pertinence. Voir : Philip Kitcher, *Science, vérité et démocratie*, PUF, 2010

52 Schmid, *op. cit.*, 2007

Une évaluation non-standard se pense au sein d'un espace non-normé, indépendamment d'une discipline particulière ou d'une méthode particulière. Si l'évaluation non-standard refuse la centralité du concept de risque c'est pour ré-encadrer dans son processus la pluralité des ingrédients de la démarche cognitive évaluative.

2-c L'évaluation non-standard ou la tolérance à l'incertitude comme valeur

Nous avons souligné que dans le contexte de l'analyse des risques, l'incertitude est noyée politiquement, contractée techniquement et simplement tolérée épistémologiquement. Cette situation devient intenable à partir du moment où nous considérons que l'incertitude est « *le nom et la figure du problème, du défi qui se présente aujourd'hui à l'humanité sous de multiples formes et manières* »⁵³. L'évaluation non-standard est une forme de pensée de la tolérance à l'incertitude.

Exorciser, s'adapter au, embrasser ou assimiler ... le monstre-incertitude

L'incertitude est multiple, informe et ambiguë. De façon métaphorique, certains auteurs considèrent l'incertitude comme un phénomène monstrueux dans le sens où elle intervient souvent dans plusieurs domaines ou catégories qui, classiquement, s'excluaient mutuellement⁵⁴ : connaissance/ignorance, objectif/subjectif, fait/valeur ou encore science/politique. Par exemple, dans l'analyse classique des risques le refus de tolérer l'incertitude peut être lié au refus de considérer les faits et valeurs comme interpénétrés ; autrement dit, le refus de considérer le phénomène dont relève l'incertitude comme à la fois faits et valeurs. De ce refus découle le découpage binaire de l'analyse des risques que nous avons déjà développé.

L'incertitude peut être considérée comme un paramètre dans le rapport que nous entretenons avec le monde. Dans ce cadre, P. van de Sluijs identifie que, face à ce qu'il appelle un « *monstre* », quatre positionnements sont possibles. Ce que nous appelons une intolérance à l'incertitude se caractérise, dans le vocabulaire métaphorique de cet auteur, comme une position qui consiste à "exorciser le monstre" (*monster-exorcists*). Autrement dit, à trouver les moyens de le chasser afin de se purifier. Une science pure serait donc une science qui réussit à exorciser ses monstres, une science des certitudes. Le deuxième positionnement possible relève d'une adaptation au monstre (*monster-adaptation*) qui consiste à transformer les incertitudes en risque probabilisable. Nous avons montré dans la deuxième partie les problèmes que cela pouvait poser, à partir du moment où l'on fait du risque le concept central, la mesure de tout. Nous faisons valoir que les bonnes questions ne sont pas forcément celles qui relèvent du filet de sécurité apparent des probabilités. La troisième possibilité consiste à embrasser le monstre (*monster embracement*). Cela revient à se fasciner de l'incroyable et insondable complexité du monde et d'en faire un fait. De ce style peut résulter un certain fatalisme et un dénie des risques environnementaux sous prétexte d'irréductibles incertitudes. Nous avons déjà parlé d'« admirateurs du chaos » pour désigner cette approche. Le constat selon lequel « *l'incertitude renvoie au fait que le monde comporte une part irréductible d'indétermination et d'imprévisibilité en vertu de son instabilité et de son cours aléatoire* »⁵⁵ n'épuise pas, à notre avis, l'enjeu d'une pensée de l'incertitude.

Enfin, le quatrième positionnement proposé par P. van de Sluijs est celui d'une assimilation du monstre (*monster-assimilation*), proche de ce que nous appelons une tolérance de l'incertitude, et qui consiste à reconsidérer les catégories par lesquelles l'incertitude est pensée. Il s'agit d'une différence fondamentale par rapport aux trois premières qui prennent les catégories et les liens entre elles comme donnés, comme des faits. En s'inscrivant dans ce quatrième style d'appréhension de l'incertitude, nous pouvons penser celle-ci comme relevant de plusieurs catégories à la fois. Cela nous donne une possibilité d'intégrer une pensée de l'incertitude qui ne soit pas destructrice dans la mesure où elle ne remet pas en cause les pluralités. Au contraire, identifier et reconnaître le pluralisme devient une condition de possibilité pour penser l'épaisseur des incertitudes. Le pluralisme offre aussi la possibilité de déterminer collectivement, et selon plusieurs niveaux ou registres, les incertitudes. Par exemple, selon ce positionnement, il devient possible de penser la tolérance à l'incertitude comme une valeur de la science, et plus encore, comme une valeur à la fois épistémique et éthique.

La tolérance à l'incertitude comme valeur épistémique et éthique

53 Miguel Benasayag, Herman Akdag & Claude Secroun, *Peut-on penser le monde ? Hasard et incertitude*, éditions du Félin, 1997, p.42

54 Jeroen van der Sluijs, « Uncertainty as a monster in the science-policy interface : four coping strategies », *Water Science & Technology*, 52.6, 2005, p. 87-92 @.

55 Levasseur 2006, op. cit. p.180

Nous dirons qu'il s'agit d'une valeur épistémique en tant que nécessité de donner un statut positif au « *state of non-art* », c'est à dire ce que nous ne savons pas, ou encore de donner une « *valeur à l'ignorance* »⁵⁶, ou encore d'ouvrir la possibilité d'une "ignorance utile". Le principe de précaution n'affirme-t-il pas qu'il ne faut pas tirer prétexte de ce qu'une information scientifique soit incertaine pour ne pas la prendre en compte dans une procédure de décision publique ? Ce terme d'*information scientifique incertaine*, bien qu'ambigüe, ne nous oblige-t-il pas à donner à l'incertain le statut de valeur épistémique ? Le principe de précaution introduit la possibilité de prendre des décisions sans attendre qu'une connaissance scientifique soit une certitude stabilisée. Il implique donc de prendre en compte ce que nous ne savons pas et non plus seulement assembler ce que nous savons. Il s'agit de la possibilité de considérer l'incertitude et l'indéterminé comme objet de connaissance. Alors il nous faut renverser la perspective : « *le fait qu'il y ait toujours, au sein de la pensée rationnelle, un noyau opaque, un objet non-réductible à la transparence d'une axiomatique, loin d'être ce qui rend impossible toute pensée, est justement ce qui permet que celle-ci soit fondée* »⁵⁷.

L'incertitude se présente alors comme un facteur pour ordonner nos certitudes et permet de ne plus considérer le déterminisme comme le vecteur principal pour ordonner notre pensée. L'enjeu est de construire un savoir aussi sur ce que l'on ne sait pas. Les vides dans les cartographies anciennes avaient une fonction d'importance, ils permettaient de démontrer que l'ignorance est toujours meilleure que l'ignorance de l'ignorance. L'incertitude comme attribut essentiel du savoir sera toujours mieux que l'illusion de la certitude. Si le risque est « ce qui coupe » (conformément à sa racine latine *resecum*), l'incertitude est ce qui relie le savoir et le non-savoir. C'est ce qui défait l'opposition entre savoirs et non-savoirs tout en conservant ces catégories. En ce sens, la tolérance à l'incertitude accompagne une pensée positive du sens commun, nous place dans une position de rigueur et de créativité face au futur et se constitue en dimension éthique. Dans une évaluation non-standard, la tolérance à l'incertitude est aussi une valeur éthique, comme nécessité de penser nos rapports au monde autrement qu'en termes de risques ; comme condition de possibilité de l'expression de stratégies de recherche (dans le sens d'enquête) qui visent à objectiver collectivement les incertitudes.

2-d L'évaluation non-standard, un questionnement axiologique et téléologique

Finalement, nous dirons que l'évaluation non-standard, plurielle et tolérante à l'hétérogénéité et l'incertitude, est avant tout un questionnement axiologique et téléologique, c'est à dire une entreprise de réflexion et d'action sur les valeurs et les finalités de nos actes. Là où l'évaluation standard produit des protocoles normés qui réduisent la complexité du réel, l'évaluation non-standard cherche les moyens de mettre en questionnement non plus seulement les impacts mais plus fondamentalement les cadres de la pensée elle-même. En cela, l'évaluation non-standard est une entreprise qui permet de questionner les valeurs, héritées et implicites, et de les inscrire dans une pensée des finalités. Ainsi évaluer ne peut se réduire à une sélection de paramètres, à une mise en nombre du monde ou encore un jeu de balance entre différents intérêts. Evaluer sera plus radicalement une prise de distance à la norme, au standard qu'elle qu'il soit pour revenir à une forme de sensibilité au spécifique, au divers à l'hétérogène. Mais est-ce à dire que le non-standard est aussi l'abandon d'une forme d'universalité de la pensée ? Ce serait sans comprendre que le non-standard, s'il résiste à l'uniformisation, n'en est pas moins un processus qui recherche le radical ; autrement dit, un processus qui recherche la racine plutôt que la cause, l'invariant plutôt que l'universel. L'évaluation non-standard, ainsi comprise, peut s'avérer produire les conditions épistémologiques à une évaluation plus globale des sciences et des techniques contemporaines. La tolérance à l'incertitude, à l'hétérogène et au multiple – caractéristiques majeures de l'évaluation non-standard – est l'expression d'un autre mode de pensée dans l'appréhension des objets issus des sciences et des techniques contemporaines dont l'implication sociale et culturelle est nécessairement significative.

56 Jerry Ravetz, « Connaissance utile, ignorance utile ? », in Jacques Theys & Bernard Kalaora (dir.), *La Terre outragée*, Autrement, 1991 ; Pierre-charles Pradier, « Le principe de précaution ou la valeur de l'ignorance », *Risques, les cahiers de l'assurance*, 72, 2008 @.

57 Benasayag, *op. cit.*, 1997, p.31

Annexe :

« Éthique générale et évaluation des technologies nouvelles »

**travail effectué en 2013 - 2014 dans le cadre du Haut
Conseil des Biotechnologies**



Éthique générale et évaluation des technologies nouvelles

Juillet 2014

Auteurs :

Jacques Blondel

Nicolas Bouleau

Léo Coutellec

Patrick Gaudray

Frédéric Jacquemart

Catherine Larrère

Coordonné par Martin Rémondet, avec le soutien du Haut Conseil des biotechnologies.

Avant-propos	6
Introduction	6
Défis pour l'éthique de l'état de l'environnement	10
Des a priori à reconsidérer	19
Quel sens y a-t-il à traiter d'« objets » les OGM ?.....	41
Quels objets ? Produits finis ? Objets techniques ? Objets scientifiques ?	41
Conclusion.....	44
Annexe 1 : Brève présentation des auteurs	47

Avant-propos

Le Haut Conseil des Biotechnologies possède, complémentairement à son conseil scientifique, structure d'évaluation de la pertinence et de la qualité scientifiques des protocoles qui lui sont soumis, un conseil économique, éthique et social, dont on peut se poser la question de savoir s'il est en partie, et au-delà d'une réelle évaluation économique et de prise en compte de leur implications sociétales, une structure d'évaluation éthique des mêmes protocoles. Face aux enjeux des biotechnologies et à leur impact sur notre vie présente, mais aussi sur la vie de celles et ceux qui poursuivront l'aventure humaine après nous, il est difficilement concevable de cantonner ni ce conseil ni le HCB, dans un rôle purement opérationnel sur le modèle des « comités d'éthique de la recherche » ou, dans le domaine médical, des « comités de protection des personnes ».

Introduction

Patrick Gaudray et Frédéric Jacquemart

La loi du 25 juin 2008 qui a créé le HCB a prévu la mise en place de deux comités, le Comité Scientifique, (CS) correspondant au seul domaine auquel l'évaluation des biotechnologies a traditionnellement été réduit : le domaine technique et le Comité Économique, Éthique et Social (CEES), qui représentait une innovation, *a priori* considérable, ouvrant l'horizon à une réflexion réelle sur le sujet. Rien, ni dans la loi ni dans les décisions politiques qui ont suivi, n'est venu ni orienter ni restreindre ce champ de l'activité du CEES. Après cinq années de fonctionnement, la situation s'est à peine modifiée, ce qui s'explique probablement par le poids considérable de la prévalence de la pensée technicienne, accrue par la vision réductionniste des institutions internationales (Commission Européenne, EFSA, OMC, Codex Alimentarius etc.). S'il n'est, pour ces institutions, d'argument recevables que s'ils sont de nature scientifique, il n'en n'est pas de même au sein de la société civile et la prévalence, tout au contraire, des questions socio-économiques et éthiques ont été affirmées par de nombreuses ONG. Dans de telles conditions, on peut s'interroger sur l'existence même d'un débat public sur ce sujet depuis une quinzaine d'années, ou de la ré-émergence de polémiques qui tuent ce débat, ou le réduisent à une forme de simulacre improductif.

Les polémiques, controverses et autres soubresauts qui agitent de manière récurrente (et parfois permanente) notre société sur les sujets qui relèvent de la compétence du Haut conseil, les biotechnologies, permettent le constat commun que les avancées scientifiques et médicales peuvent être perçues comme des problèmes avant d'être comprises comme des progrès.

Le philosophe Heinz Wismann place au milieu du XIX^e siècle le temps où « *nous sommes entrés dans une civilisation pour laquelle la nouveauté a acquis une valeur absolue* », conduisant au fait que « *l'innovation n'est pas automatiquement positive du fait de sa déconnexion ou de son découplage d'avec le progrès* ». L'éthique, dans les domaines scientifiques (et médicaux) devrait avoir pour objectif la réconciliation entre l'innovation et le progrès.

Günther Anders, parlant du nucléaire, faisait un constat qui semble applicable à l'ensemble de la technoscience : « *... Par le biais de notre technologie, nous nous sommes nous-mêmes placés dans une situation dans laquelle nous ne pouvons plus concevoir (vorstellen) ce que nous pouvons produire (herstellen) et faire (anstellen). Que signifie donc ce décalage entre conception et production ? Cela signifie que, dans une acception nouvelle et terrible, nous ne savons plus ce que nous faisons, que nous avons atteint la limite de toute responsabilité* ».

Il arrive un moment où, à force d'échecs et malgré l'inertie liée aux habitudes culturelles, la réflexion doit retrouver la trace de la réalité et revoir globalement le mode d'approche de cette problématique, y compris les *a priori* culturels admis sans discussion. Le CEES a statutairement cette possibilité. Il lui revient de droit d'enclencher un processus de révision des bases mêmes de la philosophie de l'évaluation des biotechnologies et il

est temps que s'ouvre ce vaste chantier, dont la nécessité se fait de plus en plus sentir. Le présent travail constitue en cela une introduction.

La Perception du Risque

Savoir, évaluer, prévoir cantonnent-ils la connaissance du risque, sa re-connaissance et sa définition au strict plan techno-scientifique ? La perception du risque implique une prise de conscience par – et pour soi-même et les autres "soi-même". Le risque tient une place particulièrement importante, voire centrale, dans notre société qui va parfois jusqu'à envisager l'existence d'une « culture du risque », associée à une gestion démocratique des risques technologiques, tout en aspirant, paradoxalement au « risque zéro ». A un niveau individuel, on culpabilise les « conduites à risque » sans savoir si elles résultent d'une incapacité à prendre conscience du risque encouru, ou au contraire d'une volonté délibérée de braver interdits et danger ; on stigmatise le « sujet à risque ».

Le séminaire de réflexion Européen TRUSTNET a souligné, en 2000, que la simple prise en compte de l'évaluation et de la gestion des risques esquivaient la question, suivant les cas, de son acceptation ou de sa non-acceptation. Or la justification des activités susceptibles de générer un risque doit considérer l'ensemble des aspects sociaux, juridiques, politiques, scientifiques, techniques, économiques et, bien sûr, éthiques associés à leur mise en œuvre au sein de la société. L'acceptabilité du risque trouverait ainsi son fondement dans la justification sociale des activités qui sont à l'origine du risque. La perception du risque résulterait donc d'une représentation de la notion de danger dans laquelle sont intriquées appréciations personnelles et normes, notamment comportementales, élaborées à un niveau collectif. Responsabilité individuelle et justification sociale pèsent sur la manière dont le risque est à la fois perçu et assumé, au nom et au bénéfice de quoi, et surtout de qui ? Face à une morale de l'autonomie qui implique que l'on rappelle sans cesse aux êtres humains leur responsabilité, Emmanuel Lévinas place « la responsabilité (comme) quelque chose qui s'impose à moi à la vue du visage d'autrui ». L'éthique est un appel à ma responsabilité à l'égard d'autrui. Et l'évaluation, c'est la confrontation de cette responsabilité aux principes universels de construction de référents éthiques.

Ethique et évaluation

Plutôt que prendre en compte des positions, irréconciliables en apparence, devant les évolutions scientifiques et techniques, pour élaborer le « vivre ensemble » et fixer les limites à la fois de notre responsabilité et de l'intolérable, le politique oscille entre l'exacerbation de ces différences et la recherche, probablement utopique, d'un consensus social dont il n'a pas les clefs. Il veut à la fois déléguer cette recherche de clefs à l'économisme qui s'affirme comme pouvoir absolu, incontournable, et à l'éthique à laquelle on donne le rôle d'affirmer « le bien », comme s'il s'agissait, là encore, d'un absolu. Plus qu'un absolu, l'éthique se présente, tant le terme est galvaudé et dévoyé, comme un « parapluie », un prêt à penser qu'on confie à de soi-disant experts victimes de toutes sortes d'instrumentalisation. Se faire un chemin (non pas une route, soyons modeste) dans ce que la réflexion éthique peut apporter à la société, oblige à approfondir la place de cette réflexion dans, ou en marge des différends, polémiques et controverses qui l'agitent.

On est loin, ici, de démarches d'accréditation et d'habilitation « éthiques » obtenues au terme d'une évaluation quasi administrative par des structures *ad hoc* de gouvernance de l'évaluation éthique, de la recherche par exemple. Pour autant, l'évaluation tient une place importante dans la réconciliation possible entre innovation et progrès. Mais quelle évaluation ? Quelle place de l'éthique dans l'évaluation ?

L'évaluation se place, intrinsèquement, dans un cadre normatif. On évalue par rapport à ... En relation avec... L'éthique, dans sa dimension réflexive aussi bien que normative, est un des standards sur lesquels peut se fonder l'évaluation, mais elle n'en est pas un absolu. Comme nous l'avons indiqué plus haut, l'éthique n'est pas en charge de dire « le bien », mais de permettre d'élaborer ce que la société souhaite s'approprier en termes de « vie bonne ». Force est de constater que ce n'est pas dans ce contexte que notre société veut domestiquer la nature au

nom d'une prétendue « société de la connaissance », alors qu'elle ne promet bien souvent qu'une société de la technologie où seules comptent les applications de la science. Est-il possible de dépasser enfin « l'accroissement mécanique du savoir », dont Condorcet affirmait qu'il « *ne suffit pas à promouvoir le développement scientifique et culturel des sociétés* » ? L'esprit et les connaissances scientifiques, même les plus élémentaires, ne font toujours pas partie du savoir commun, de la culture. Ils sont ainsi toujours le privilège d'élites qui s'évertuent à y faire reposer leur pouvoir. N'est-ce pas à l'éthique d'affirmer la primauté du savoir sur le pouvoir, de contribuer à placer la science et l'innovation sous le regard critique de la démocratie ?

Ethique et intérêt général

Vivons-nous dans une société de la connaissance, ou dans une société de la technologie où seules comptent les applications de la science ? Louis Pasteur disait qu'il « *n'existe pas une catégorie de sciences auxquelles on puisse donner le nom de sciences appliquées. Il y a la science et les applications de la science, liées entre elles comme le fruit à l'arbre qui l'a porté* ». Nous avons peut-être un peu oublié aujourd'hui que l'arbre porte le fruit, et que les deux sont de nature distincte. Il s'en suit une certaine confusion, confusion entre sciences et applications de la science, un mélange intime de la science et de la technique, autrefois liées mais distinctes, pour créer l'empire de la techno-science, mainmise technique sur le monde, emprise toujours plus grande de la raison instrumentale.

La prévalence de l'évaluation des biotechnologies confiée à des comités plus ou moins *ad hoc* conduit souvent à percevoir l'éthique sous une forme restreinte à l'éthique appliquée, c'est à dire à la traduction, dans un domaine particulier, des règles morales établies.

L'éthique doit pourtant être envisagée comme un domaine beaucoup plus ouvert et continuellement remis en question par l'évolution du monde. C'est bien sûr à ce dernier niveau que se situe notre réflexion, certains d'entre nous considérant même qu'au-delà de l'explicite, l'éthique constitue un contexte de sens qui dépasse les capacités du langage à en donner une description directe.

Cette appréhension générale de l'éthique a à voir avec l'intérêt général. D'une manière très naïve par rapport à tout ce que la philosophie morale a pu produire, mais afin de désigner aussi simplement que possible le thème qui est le nôtre dans un cadre pluridisciplinaire, on peut, à titre provisoire, donner de l'éthique et de son évolution une description rudimentaire qui servira d'introduction.

L'être humain, solitaire, a peu de chances de survie dans une nature sauvage. La vie en société est, pour lui, une nécessité vitale. Son intérêt individuel se construit globalement à travers l'intérêt de la collectivité. En se basant sur « *La filiation de l'homme et la sélection liée au sexe* » de Charles Darwin, John Baird Callicott aborde clairement cette notion de collectivité :

« Les clans ont ainsi fusionné pour former des tribus, puis les tribus ont formé des nations, et finalement, les nations ont fondé des républiques. L'émergence de chacun de ces niveaux d'organisation sociale était accompagnée d'une extension corrélative de l'éthique. Darwin résume cette croissance parallèle de l'éthique et de la société de la manière suivante :

« À mesure que l'homme avance en civilisation et que les petites tribus se réunissent en communautés plus nombreuses, la simple raison indique à chaque individu qu'il doit étendre ses instincts sociaux et sa sympathie à tous les membres de la même nation, bien qu'ils ne lui soient pas personnellement connus. Ce point atteint, une barrière artificielle seule peut empêcher ses sympathies de s'étendre à tous les hommes de toutes les nations et de toutes les races. » »

Il est clair que, d'une part, cette « sympathie », à prendre au sens fort de conjonction avec les autres, pourrait encore être étendue au-delà de l'être humain si le besoin s'en faisait sentir (et pour certains, c'est déjà le cas) et que, d'autre part, jusqu'à présent, l'intérêt général, vu au moins du point de vue de la société occidentale,

concerne l'harmonie sociale. Cette éthique sociale considère *de facto* la nature comme une entité extérieure à l'être social, asservi à ce bien commun là.

Si les scientifiques s'accordent généralement sur le fait qu'il existe une résilience des écosystèmes, celle-ci n'existe qu'assortie de seuils. La question centrale est de déterminer quels sont ces seuils, où se situent les limites de cette résilience et à partir de quels types de seuils les systèmes basculent dans de nouvelles trajectoires, le plus souvent indésirables. Malheureusement, on doit reconnaître que, *de facto*, la nature est encore considérée comme ayant une résilience infinie. Se servir des ressources naturelles ne saurait remettre en cause la pérennité de la société, quelle qu'en soit l'étendue (tribu, nation ou autre). Si la pérennité de la société et donc des individus qui la constituent dépend d'une compatibilité avec la nature, alors, l'intérêt général vise à la compatibilité de l'être humain en tant qu'espèce avec la nature dont il fait partie. Or, vers la moitié du XX^e siècle, il commence à apparaître à l'évidence que cette idée *a priori* de résilience infinie de la nature doit être remise en question. Les bouleversements des milieux naturels consécutifs à l'accroissement considérable des moyens techniques entraînent la nécessité de repenser l'éthique générale dans un cadre profondément rénové. Sans abandonner bien sûr l'impératif social, celui-ci doit maintenant se conjuguer avec l'impératif naturel.

Un bref survol de l'état des lieux des altérations de la nature à l'époque moderne donnera la notion de l'urgence :

Défis pour l'éthique de l'état de l'environnement

(Jacques Blondel)

Services écosystémiques et épuisement des ressources

Une évidence de bon sens est que l'environnement – dans ses composantes physiques et biologiques – est au fondement même de notre existence. Il l'est parce que la diversité biologique qui s'y déploie exerce des *fonctions* qui sont à l'origine des *services écosystémiques* nécessaires à la vie. Ces services sont de deux ordres : les services d'approvisionnement dont nous dépendons directement (nourriture, fibres végétales, énergie, médicaments), et les services de régulation qui conditionnent la qualité et la quantité des fonctions (régulation du climat, purification de l'air et de l'eau, contrôle des agents pathogènes, pollinisation etc.). Or la communauté scientifique a abondamment apporté les preuves que notre environnement se dégrade, que cette dégradation affecte la planète Terre dans sa globalité et que cette dégradation risque d'avoir de sérieuses conséquences sur le développement et le bien-être des sociétés humaines. Des mesures globales montrent que les pressions exercées sur l'environnement terrestre et marin sont telles que les capacités de son auto-régénération sont dépassées. En d'autres termes la production organique de la biosphère ne compense plus ce qui est prélevé par les sociétés humaines. Les indicateurs de pression sur la diversité biologique ne cessent de s'emballer. L'ONG *Global Footprint Network*, présidée par Mathis Wackernagel, inventeur avec William Rees de l'indice d'empreinte écologique¹, calcule chaque année le jour où la consommation par l'humanité des ressources naturelles a épuisé ce que la planète est capable de produire en une année. En 2013, ce « jour du dépassement » (*Earth overshoot day*) a eu lieu le 20 août, ce qui signifie que ce que nous avons consommé entre cette date et la fin de l'année fut prélevé sur le capital naturel de la planète. Il aura donc fallu moins de neuf mois pour épuiser le budget écologique de l'année. Ce jour du dépassement eut lieu le 21 octobre en 1993 et le 22 septembre en 2003. Même si les méthodes utilisées pour calculer ce genre d'indice sont discutables et perfectibles, elles donnent une idée des pressions que nous imposons à la nature. Ces pressions ont été dénoncées par le *Millennium Ecosystem Assessment*, vaste entreprise lancée à l'initiative du Secrétaire Général des Nations Unies dans la foulée de la

1 Wackernagel & Rees, 1995. *Our Ecological Footprint : Reducing Human Impact on the Earth*. Gabriola Island, New Society Publishers, Gabriola Island, BC, Canada.

Conférence de Rio de Janeiro (1992) qui fait, dans son rapport de 2005, un sombre état des lieux de l'état des principaux écosystèmes de la planète. Depuis, aucune des mesures timidement avancées pour renverser la tendance n'a eu à ce jour le moindre effet.

Les déterminismes de ces pressions sur l'environnement sont nombreux, complexes et en interactions les uns avec les autres. On les rassemble sous l'expression de « changement global » (*Global change*) qui se décline en six composantes. Lourdes et globales, donc planétaires, elles sont liées à la domination des humains sur une planète devenue à ce point anthropisée et modifiée que le terme « d'Anthropocène » a été proposé par le Prix Nobel Paul Crutzen pour désigner cette nouvelle ère géologique qui succède à l'Holocène. Isolément ou en synergie, ces composantes du changement global se combinent pour exercer sur la diversité biologique et sur les fonctions et services écologiques d'approvisionnement et de régulation des pressions inédites dans l'histoire de la vie.

Changements globaux

La dynamique démographique

Trois facteurs font des humains une espèce de vertébré absolument particulière dans toute l'histoire de la vie : i) la vitesse de la croissance de sa population mondiale qui, en deux siècles, est passée de un milliard de personnes à plus de 7 milliards, ii) son cosmopolitisme puisqu'elle a réussi à coloniser tous les habitats terrestres où la vie est possible ; enfin iii) la puissance technologique dont elle s'est dotée pour transformer son environnement au point de détourner à son seul profit – et donc largement au détriment d'autres espèces - près de la moitié de la productivité organique de la biosphère. Toutes les autres composantes du changement global, avec leur cortège de conséquences sur l'environnement, sont *in fine* la résultante de cette pression démographique. Vaste défi car, avec neuf milliards de personnes à l'horizon 2050, un niveau de consommation égal pour tous et conforme aux standards actuels des pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) impliquerait de multiplier par 15 les économies, ce qui est impossible. On ne soulignera évidemment jamais assez l'énorme hétérogénéité géographique des pressions exercées par les humains sur la biosphère mais le propos se voulant global donc planétaire, les variations géographiques de ces pressions ne seront pas considérées ici. D'ailleurs un grand nombre d'entre elles diffusent sur la totalité de la planète même si leur occurrence est géographiquement limitée. C'est le cas des gaz à effet de serre ou de certains gènes de résistance aux biocides et antibiotiques.

La dégradation et la fragmentation des habitats

L'altération des habitats, par appauvrissement de leur richesse en espèces végétales et animales ainsi que par leur transformation en paysages agricoles ou forestiers, est une cause majeure d'homogénéisation et de banalisation d'écosystèmes dont les services se réduisent à la seule fonction de production de biens de consommation au seul profit des humains. Grâce aux avancées technologiques dans le domaine de la sélection des plantes, de leur protection chimique et d'un apport considérable en fertilisants, la « révolution verte » de la seconde moitié du XX^e siècle a permis que la production globale de nourriture, à défaut d'être équitablement répartie, dépasse les besoins d'une population humaine en croissance constante. Mais les coûts de ces succès incontestables se mesurent aujourd'hui à l'aune des dégâts causés à la diversité biologique et à l'état d'écosystèmes dont les fonctions et services ne cessent de se dégrader au point que les sols ne sont plus que les supports mécaniques d'une production végétale qui n'est possible que par l'apports d'intrants extérieurs (énergie, fertilisants, pesticides, fongicides). Or les sols sont le siège d'une multitude de fonctions qui sont loin de se limiter à la seule fertilité. La fragmentation des habitats a aussi pour conséquence d'entraîner de sérieux risques de perte de variabilité génétique puis d'extinction, dès lors que l'isolement de petites populations qui ne sont plus connectées les unes aux autres les expose aux effets délétères de la dérive génétique et de la consanguinité.

Les intrants chimiques

Le déversement dans le milieu naturel de milliers de substances chimiques, biochimiques et physiques, sous forme de plastiques, d'engrais, de molécules de synthèse ou de nanoparticules

multiples, entraîne un empoisonnement insidieux et généralisé des sols, de l'air, des eaux superficielles et profondes, continentales et marines, ainsi, par voie de conséquence, que de tous les organismes vivants, qui souffrent de toutes sortes de contaminants qui se concentrent le long des chaînes trophiques. Pour ne citer que cet exemple, l'usage et la manipulation des pesticides agricoles entraînent chaque année la mort de centaines de milliers de personnes dans le monde. À la différence des pollutions de type événementiel catastrophique, les plus grandes menaces sont invisibles : ni le changement de la composition chimique de l'atmosphère ni les micropolluants de l'air ou de l'eau ne sont directement accessibles à nos sens. Cette pollution est source de dysfonctionnements et de pathologies dont l'importance est encore largement sous-estimée, comme le stigmatisent l'Appel de Paris² et plusieurs cris d'alarme plus récents. De tous ces dysfonctionnements, l'eutrophisation est actuellement le plus spectaculaire, au point de devenir un problème majeur pour la plupart des systèmes d'eau douce, lagunaires et côtiers à travers le monde. De grandes inconnues persistent sur la dynamique des composés chimiques introduits dans le milieu naturel, car on connaît mal leur stabilité et leur aptitude à interagir avec d'autres types de contaminants, voire d'agents pathogènes (« effet cocktail »). L'eutrophisation des sols et des eaux due aux déversements excessifs de phosphore et d'azote a de multiples répercussions, dont la prolifération explosive d'algues et de cyanobactéries, souvent toxiques et nauséabondes (l'invasion estivale des côtes françaises par certaines algues vertes est là pour nous le rappeler !). Aux polluants eutrophisants s'ajoutent bien d'autres produits tels que les pesticides, les métaux lourds et les produits pharmaceutiques divers dont on connaît encore mal les effets sur l'environnement. La relation entre eutrophisation des eaux et maladies infectieuses est à l'origine d'une forte morbidité et mortalité humaines et, probablement aussi, au sein des communautés aquatiques.

Les invasions biologiques

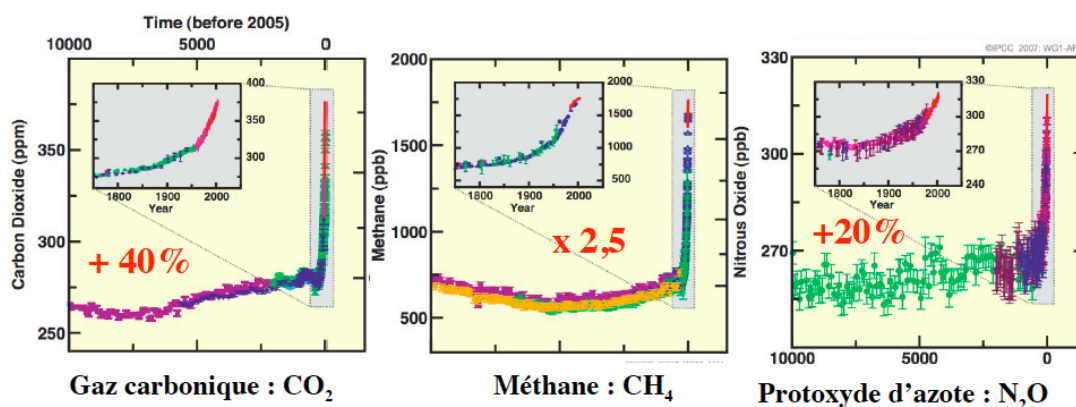
L'introduction en dehors de leur aire naturelle de répartition d'organismes non autochtones, que favorise la mondialisation et la rapidité des échanges, fait peser de sérieux risques sur l'identité et le fonctionnement des systèmes écologiques. Ce phénomène est considéré comme une cause majeure d'érosion de la diversité biologique et d'homogénéisation des communautés. Des centaines d'espèces ont été introduites en dehors de leur enveloppe naturelle de distribution géographique, souvent avec les meilleures intentions quand il s'agissait d'espèces utilisées pour l'alimentation, l'ornementation ou le contrôle de prédateurs ou de parasites responsables de dégâts à la végétation spontanée, y compris dans des parcs nationaux. Mais la plupart de ces introductions ont de fâcheux effets sur les communautés autochtones, et par conséquent sur les services offerts par les écosystèmes aux populations humaines.

Les dérèglements climatiques et l'acidification des océans

Depuis une dizaine de milliers d'années, le climat de la planète est de type interglaciaire, donc globalement chaud et humide par rapport à ce qu'il fut pendant la plus grande partie du pléistocène (deux derniers millions d'années) qui fut dominé par de longues périodes glaciaires beaucoup plus froides, mais surtout beaucoup plus sèches, brièvement entrecoupées de courtes périodes interglaciaires comme celle dont nous bénéficions aujourd'hui. Une rupture brutale dans les courbes de températures et de concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère s'est produite au cours des deux derniers siècles, coïncidant très précisément avec l'envol démographique de la population humaine que permit la révolution industrielle, dont l'envoi fut donné par l'invention de la machine à vapeur à la fin du XVIII^e siècle. Les cinq rapports du Groupe intergouvernemental

2 L'appel de Paris, lancé à l'UNESCO le 7 mai 2004 par des scientifiques de renom, des médecins et des représentants d'associations environnementales, lors du colloque « Cancer, environnement et société » organisé par l'Association de recherche anticancéreuse (ARTAC), est une déclaration solennelle et historique sur les dangers sanitaires de la pollution chimique et particulière.

sur l'évolution du climat (GIEC³), dont le dernier fut publié en 2013, font état d'un remarquable consensus entre les messages produits par les différents modèles utilisés. Tous convergent pour indiquer qu'une augmentation de température de 2°C à 6°C est probable d'ici à la fin du siècle. La planète sera globalement plus chaude en 2050 qu'elle ne l'a été à quelque période que ce fût de l'histoire humaine et, en 2100, elle sera plus chaude qu'elle ne l'aura été au cours des trois derniers millions d'années. Quant au niveau de l'océan mondial, il s'est élevé de 17 cm au cours du XX^e siècle et les simulations du dernier rapport du GIEC concluent à un relèvement compris entre 20 cm et 60 cm, peut-être davantage, pour le XXI^e siècle avec toutes les conséquences qu'on peut imaginer pour les populations humaines. « *Le changement climatique remet en cause le principe des Lumières selon lequel le progrès humain rendra l'avenir toujours meilleur que le passé [...]. L'une des plus rudes leçons qu'enseigne le changement climatique, c'est que le modèle économique de croissance et la consommation effrénée des nations riches sont écologiquement insoutenables...* », avertit le Programme des Nations unies pour le développement (PNUD). Enfin, les dérèglements climatiques se manifestent aussi par une occurrence croissante d'événements dits extrêmes tels que cyclones, ouragans, tempêtes, inondations, sécheresses prolongées, vagues de froid ou de chaleur. Leur fréquence augmentera puisque nous vivons dans une atmosphère plus chaude, donc plus riche en énergie. Par ailleurs, l'acidification des océans, sous l'effet de l'absorption du gaz carbonique, conséquence insidieuse de l'augmentation des concentrations de CO₂ atmosphérique, a d'ores et déjà de sérieux effets sur les récifs coralliens ainsi que sur le squelette de nombreuses espèces marines. Les niveaux actuels d'acidification des océans, dont témoigne une diminution significative du pH des eaux, sont les plus extrêmes de tous ceux qu'ont connus les organismes actuellement vivants et les écosystèmes marins au cours de leur histoire.



Evolution des principaux gaz à effet de serre

(Académie des Sciences livret environnement n°1, d'après Jean Jouzel)

La surexploitation des ressources naturelles

Parmi tous les exemples qui pourraient être cités d'une surexploitation des ressources naturelles, l'état de délabrement des stocks de poissons de l'océan mondial donne peut-être l'image la plus affligeante de la situation. Estimées à environ cinq millions de tonnes au début du XIX^e siècle, les captures annuelles de poisson dans l'océan mondial s'élèvent actuellement à plus de quatre-vingt-

3 Créé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), le GIEC est organisé en trois ateliers chargés a) d'évaluer l'information scientifique sur les scénarios d'évolution climatique, b) d'estimer les impacts économiques et environnementaux des scénarios de changement climatique, et c) de proposer des réponses stratégiques sur les moyens de limiter les émissions de gaz à effet de serre et sur les mécanismes d'adaptation aux dérèglements climatiques.

quinze millions de tonnes. Or cette masse reste à peu près constante, et a même tendance à décliner depuis plusieurs décennies malgré un effort de pêche qui s'est considérablement intensifié par l'utilisation de bateaux plus puissants et mieux équipés, un chalutage plus profond, allant jusqu'à trois mille mètres de profondeur, et l'exploitation de nouvelles zones de pêche. À l'évidence, les stocks de nombreuses espèces de poissons ont atteint leurs limites. En 2012, la FAO constate que 57 % des stocks de pêche en mer sont exploités au maximum de leur capacité et qu'environ 30 % sont en situation de surpêche. Quant au chalutage profond, qui ne représente pourtant que 5% des prises totales dans l'Atlantique du nord-est, il a des conséquences désastreuses sur les populations de poissons et les écosystèmes des grands fonds marins. Il s'agit en plus d'un exemple caricatural de pêche non durable car les poissons des grands fonds (Sabre, Lingue etc.) ont un taux de renouvellement très lent de leurs populations car ce sont des espèces longévives à maturité sexuelle tardive et reproduction très lente dont les stocks s'épuisent très rapidement. De plus, en raclant les grands fonds, les chaluts saccagent la faune très spécialisée qui s'y trouve et condamne à mort tous les poissons non commercialisés qui remontent dans les chaluts. Bref, cette pêche est une aberration, heureusement de plus en plus reconnue comme telle, y compris par les circuits commerciaux (Carrefour s'est engagé à ne plus vendre ces poissons).

La réalité de toutes ces transformations qui, à l'aune de l'histoire de la vie sur la Terre, sont soudaines et brutales soulève de multiples questions d'ordre scientifique, politique, économique, juridique et éthique. Cette réalité presse la communauté scientifique à se mobiliser pour analyser leurs conséquences sur les systèmes vivants, leur diversité, leurs fonctions dans les écosystèmes et les services que les sociétés humaines sont en droit d'en attendre. Une analyse intégrée et globale des effets de ces changements est à l'évidence nécessaire pour les atténuer et développer des méthodes de gestion adaptative. Les défis posés à la communauté scientifique sont d'autant plus difficiles à relever que beaucoup de scénarios de lutte contre ces changements se fondent sur des hypothèses invérifiables. Une des plus préoccupantes est celle de la non-linéarité des phénomènes : on ne sait presque rien à ce jour des « effets de seuil » selon lesquels une trajectoire bascule brusquement dans une autre direction à partir d'une certaine valeur de ses états qu'il est à peu près impossible de prédire. Si des cas de basculement de trajectoire écologique sont bien connus à l'échelle de systèmes écologiques localisés, rien ne permet actuellement de prédire ou modéliser ce qui pourrait se passer à l'échelle globale sous l'effet de puissants facteurs de forçage. Toutefois, les expériences de profonds changements d'état vécues par la biosphère au cours des temps géologiques, lors de l'explosion cambrienne de vie (il y a 540 millions d'années), puis sous l'effet des cinq grandes crises d'extinction qui jalonnèrent l'histoire de la vie (entre – 443 et – 65 millions d'années), enfin, plus près de nous, lors de la dernière transition glaciaire/postglaciaire (entre – 14300 et – 11000 ans) sont des points de repère qui renseignent sur les facultés de résilience de la vie à ces échelles de temps et d'espace ainsi que sur les nouvelles trajectoires empruntées par les systèmes vivants lors de leur lente cicatrisation. Quelles que soient les incertitudes sur les trajectoires futures, la puissance des facteurs actuels de forçage ne permettra très probablement pas d'échapper à un nouveau basculement de trajectoire⁴ à l'échelle de décennies ou de siècles, justifiant la dénomination d'une nouvelle ère géologique, l'Anthropocène.

Le déclin de la biodiversité

Nous assistons donc à une crise d'extinction massive telle que la planète n'en a plus connu depuis des millions d'années. Quels arguments permettent de la documenter et d'en estimer l'ampleur ? Il faut d'abord préciser que l'extinction est un phénomène normal, régulier et attendu, comme un bruit de fond récurrent au cours de toute l'histoire de la vie et qui est nécessaire à l'émergence de nouveauté et de complexité. Les archives paléontologiques nous apprennent que la durée moyenne de vie des espèces, très variable selon les groupes, se

4 Barnosky, A.D. et al., 2012. Approaching a state shift in Earth's biosphere. Nature 486, 52-58

située dans une fourchette de 2 à 10 millions d'années. Au cours du Cénozoïque (les 65 derniers millions d'années), le taux naturel d'extinction fut de l'ordre d'une espèce par million et par an, rythme qui signifie, s'il reste à peu près constant au cours des âges, que le nombre actuel d'espèces vivantes – quelque 10 à 30 millions – ne représente guère que 1% de toutes celles qui ont vécu à un moment ou l'autre de l'histoire de la vie. D'après le *Millennium Ecosystem Assessment*⁵ la crise actuelle, qui a pour particularité d'être due à l'impact de l'homme, se traduit par un taux d'extinction mille fois plus élevé que le taux de routine. Ce taux actuel, estimé à 5% de la diversité mondiale par décennie à partir de projections basées sur certaines lois biogéographiques comme la relation aire – espèces, est tel qu'on estime que la planète s'appauvrit chaque année de 0,5 à 1,5% de sa nature sauvage et que plus de la moitié des espèces actuelles disparaîtront avant le milieu du XXI^e siècle.

Les extinctions d'origine anthropique ne datent pas d'aujourd'hui⁶ car l'histoire des relations entre les humains et la biodiversité est une suite de massacres qui a commencé par l'extermination des splendides faunes de grands mammifères – plus de 25 espèces dont plusieurs antilopes, le cheval, un rhinocéros, quelques grands félins et ours - qui peuplaient l'Europe au Paléolithique et dont les témoignages ornent les grottes préhistoriques comme celles de Lascaux, Chauvet et Cosquer. Un exemple tristement célèbre est le massacre de ces extraordinaires peuplements d'éléphants et d'hippopotames nains, de la taille de chiens et de cochons, qui peuplaient les îles méditerranéennes il y a 7000 ou 8000 ans. Plus de 2000 espèces d'oiseaux, soit près de 20% de l'avifaune de la planète, qui peuplaient les îles et archipels du Pacifique furent exterminées lors de la conquête des archipels de l'océan Pacifique par les mélanésiens à l'aube du premier millénaire. D'après l'UICN, 784 extinctions ont été enregistrées depuis l'année 1500, date arbitrairement choisie pour définir les extinctions de l'époque moderne, mais des milliers d'extinctions sont passées inaperçues. Depuis le début du XX^e siècle la faune de mammifères a perdu un cétacé, 10 marsupiaux, 10 chauves-souris, 4 primates, 17 rongeurs. Trente pour cent des oiseaux endémiques de l'archipel des Hawaï et 60% de ceux de l'île de Guam (Pacifique ouest) ont disparu. Plus du tiers des espèces d'oiseaux des îles de La Réunion et de Guadeloupe sont menacées ou ont déjà disparu. A force de se raréfier et de diminuer en abondance de nombreuses espèces deviennent vulnérables à l'extinction selon les critères des Listes Rouges de l'UICN. C'est ainsi qu'en France métropolitaine, 9% des mammifères, 19% des reptiles, 21% des amphibiens, 27% des oiseaux nicheurs 22% des poissons d'eau douce et 28% des crustacés d'eau douce sont considérés par l'UICN comme menacés de disparition du territoire. On pourrait décliner à l'envi des exemples d'extinctions globales mais ce qui importe le plus, d'un point de vue fonctionnel, ce sont les extinctions locales de petites populations isolées. Non comptabilisables dans les statistiques d'extinctions, les disparitions locales de populations représentent un appauvrissement considérable des fonctions et services attendus de la biodiversité, effilochant peu à peu le tissu vivant des écosystèmes avec toutes les conséquences sur la qualité et l'efficacité du fonctionnement de ces derniers.

Les obstacles à la prise de conscience, puis à l'action : réflexions pour l'éthique

Que les effets de ces différentes composantes du changement global imposent de porter un nouveau regard sur notre façon de considérer l'environnement n'est plus discutable. Et pourtant, nos contemporains réagissent très diversement à la réalité de ces changements, ce qui s'explique par deux phénomènes. On observe d'abord des

5 Millennium (2005). *Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends*. Washington DC, Island Press.

6 Blondel, J. 2005. La biodiversité sur la flèche du temps. *Natures, Science, Sociétés* 13, 296-301.

divergences d'appréciation avec trois attitudes : i) le « scientisme » qui consiste à faire encore et toujours confiance à la science et à la technique qui ont toujours réussi à régler les problèmes. On trouvera toujours, diront certains, des solutions instrumentales pour éliminer ces « dégâts collatéraux » de la civilisation que sont la dégradation de l'environnement et les déséquilibres dans le développement ; ii) le « pessimisme » avec une culpabilisation collective qui voit dans le non-respect par l'homme des « équilibres de la nature » l'origine des malheurs de l'humanité, une punition ou revanche de la nature en quelque sorte. Il faut donc un moratoire, stopper l'élan, limiter l'interventionnisme humain, laisser la nature panser ses plaies et s'engager dans une logique de décroissance (cf. certains mouvements relevant de la « deep ecology »), iii) le « fatalisme », attitude inspirée de certains thèmes sociobiologiques selon lesquels les grands équilibres biologiques ont périodiquement traversé des crises au cours de l'histoire (cf. les grandes crises d'extinction qui ont jalonné l'histoire de la vie) : la crise actuelle, pour différente qu'elle soit dans ses causes et ses conséquences, finira toujours par déboucher, par auto-régulation, sur l'émergence de nouveaux équilibres.

Le deuxième phénomène est le *découragement* provoqué par le constat de la disproportion entre l'ampleur de la tâche et la modestie des moyens. La mondialisation des problèmes nécessiterait un traitement global qui échappe aux moyens d'action à l'échelon local, d'où l'irréalisme et l'inefficacité des grands programmes, tel par exemple l'*agenda 21* de la Conférence de Rio sur l'environnement et le développement. Le découragement se nourrit i) des tensions Nord-Sud qui ne feront que s'accroître tant qu'une tendance à la décroissance des déséquilibres économiques ne sera pas amorcée, ii) de l'égoïsme des riches : un frein sérieux à l'application des textes de Rio est l'hostilité des pays développés à changer quoi que ce soit dans leur mode de vie, iii) de l'incrédulité : beaucoup restent sceptiques sur la réalité de la crise écologique mondiale comme l'illustre de manière caricaturale le célèbre « Appel de Heidelberg »⁷, iv) l'insuffisance des moyens : le gigantisme du chantier se heurte à de multiples problèmes d'organisation quand on réalise que le coût moyen annuel des actions prévues pour remédier à la hausse inexorable de la température moyenne de la planète est chiffré par l'ONU à quelque 600 milliards de dollars. De plus, aucune instance de gouvernance supra-nationale n'aura l'autorité et les moyens suffisants pour stopper le processus de dégradation de l'environnement.

Il découle de tout cela que le diagnostic sur l'état de l'environnement peine à s'imposer en raison de ce qui ressemble à un travail permanent d'*enfouissement*, en un mot, d'*aveuglement*, de *déni* de la réalité.

Environnement, éthique et responsabilité

Une importante et salutaire réflexion philosophique se cristallise autour de l'éthique de l'environnement. Il ne peut être question ici de la développer mais, concernant les relations entre l'humain et le vivant non-humain, deux points sont essentiels à souligner.

Le premier, de type anthropocentrique, se rapporte à l'intérêt moral qui s'attache au respect de l'environnement et à ses valeurs en tant que fondements de l'existence même des sociétés humaines. On reconnaît plusieurs types de valeurs à la diversité biologique, ses valeurs d'usage et ses valeurs de non-usage telles que sa valeur d'option ou sa valeur de legs. Si l'on ne peut contester l'obligation morale qui consiste à préserver la qualité des valeurs d'usage pour l'ensemble de nos contemporains, la transmission aux générations futures d'une gamme de potentialités aussi vaste que celle dont nous avons hérité (valeur de legs) est, elle aussi, une obligation morale.

Un second aspect de l'éthique de l'environnement, non anthropocentrique celui-là, se rapporte à la valeur intrinsèque du vivant non-humain. Selon certains penseurs, comme Paul Taylor, tout être vivant est un « centre téléologique de vie » et doit donc être considéré comme une fin en soi, un *telos*, condition nécessaire et

7 L'appel d'Heidelberg, lancé par 264 scientifiques dont 52 Prix Nobel, deux jours avant l'ouverture de la conférence de Rio de 1992, fut une mise en garde des chefs d'État et de gouvernement contre « une pseudo-défense de l'environnement basée sur des critères irrationnels, qui s'opposent au progrès scientifique et industriel et nuit au développement économique et social ».

suffisante pour être doté d'une valeur inhérente et, donc, être sujet de considération morale. C'est un premier point mais il en est un second : au-delà de cette valeur d'existence, le vivant est porteur d'une valeur de différenciation qui relève aussi du champ de l'éthique si l'on reconnaît que la diversité biologique d'aujourd'hui conditionne, par les processus évolutifs qui l'animent, la diversité biologique de demain. C'est bien pourquoi le fait de porter atteinte à la diversité biologique actuelle revient à changer la trajectoire du vivant. On peut donc faire valoir que tout élément de biodiversité n'est pas seulement une pièce interchangeable mais un acteur, par son passé et sa projection dans le futur, d'une fonction créatrice qui lui est propre.

D'où une exigence de respect de l'intégrité du vivant tel que l'a construit l'évolution. A titre d'illustration, les questionnements sur les végétaux génétiquement modifiés sont exemplaires et se situent à trois niveaux au moins de réflexion. D'abord, celui du comportement des gènes introduits dans l'organisme modifié et la manière dont ces gènes s'associent avec d'autres pour former des combinaisons aux effets imprévisibles (mécanismes de pléiotropie). Ensuite, celui des flux de gènes à travers la dissémination de pollen transgénique qui pourrait menacer l'identité de variétés et de populations non cibles de plantes cultivées et sauvages. Enfin, le troisième niveau renvoie à des interrogations plus fondamentales, de type ontologique, sur la nature du vivant et la légitimité de ces manipulations qui pourraient affecter la part du hasard dans l'élaboration de l'individu, voire même la trajectoire de l'évolution. Les organismes génétiquement modifiés soulèvent donc la question éthique de l'altération possible de la composante de différenciation qui s'attache à la diversité biologique.

En conclusion, le *Millennium Ecosystem Assessment*, entreprise d'évaluation globale des écosystèmes au tournant du siècle dernier, le quatrième rapport d'évaluation du GIEC⁸, le rapport du PNUE sur l'avenir de l'environnement mondial (GEO-4), le rapport de l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC), tous pointent la nécessité d'une révision radicale de nos modes de vie qui aille dans le sens d'une atténuation significative de la pression humaine sur la biosphère. C'est dans ce contexte qu'émerge la notion de « frontière planétaire »⁹ qui consiste à établir, à l'échelle de la planète, des limites à ne pas dépasser aux pressions d'origine anthropique sur les fonctions et processus majeurs de manière à garantir des niveaux durables d'approvisionnement en services écosystémiques dont dépendent les sociétés humaines.

Des *a priori* à reconsidérer

(Frédéric Jacquemart)

La culture étant ce qui permet de penser et d'agir, elle est déjà-là avant tout à chaque instant et elle s'exprime par des *a priori* d'autant moins remis en question que, permettant de voir, ils ne sont pas vus spontanément. Ce contexte, au sein duquel ce que nous faisons prend sens, « va de soi » et ne fait donc habituellement l'objet d'aucun questionnement.

Les *a priori* culturels sont extrêmement forts, car ils assurent une part de la mise en commun du sens. L'éducation consiste en grande partie à faire en sorte que le sens soit suffisamment le même de manière collective. Ces « *a priori* » sont ici conçus comme des « déjà-là », présents et actifs avant toute pensée et décision et permissifs d'elles-mêmes, s'imposant comme « allant de soi ». Illustrons cette expression :

ABABABABABABABABABAB

8 GIEC, 2007. IPCC (2007) *Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge, Cambridge Univ. Press.

9 Rockström, J. *et al.* (2009) A safe operating space for humanity. *Nature* 461, 472-475.

Si la question est « si on allonge cette chaîne, quel sera le caractère rajouté ? », nul doute que la réponse sera « A ». À aucun moment pourtant, il n'a été précisé que la lecture se faisait de gauche à droite. Ce sens de lecture constitue un *a priori* culturel (non absolu) sur lequel on n'a pas constamment à s'interroger, il « va de soi » de manière commune et permet ce sens commun sans qu'il soit nécessaire de refaire le monde à chaque instant. Si la même question est posée dans une culture où la lecture se fait de droite à gauche, la réponse « B » sera aussi valide, dans ce contexte, que l'était le « A » dans notre culture. On voit, sur ce simple exemple, que ces *a priori* culturels comportent des jugements *a priori*, mais aussi des conditions de jugements (ici, condition pour que « A » ou « B » soient une réponse valide). Par extension, on comprend comment les incompréhensions inter-culturelles peuvent être pernicieuses, puisque basées sur du non-dit, jamais examiné, encore une fois : « allant de soi », c'est aussi cette situation que nous retrouvons dans le faux débat sur les OGM, où les conditions de jugement ne sont plus homogènes »¹⁰.

En plus des jugements et conditions de jugement *a priori*, on peut identifier aussi des désirs (moteurs de l'action) eux aussi implicitement validés culturellement et qui restent valides alors même que le contexte a changé. Ainsi, nos ancêtres cultivateurs du croissant fertile avaient-ils probablement envie d'éradiquer les « mauvaises herbes »¹¹, les insectes qui les piquaient, les animaux qui les menaçaient. De même, les désirs de vivre éternellement et éternellement jeunes, de procréer (vivre et proliférer) etc. viennent du fond des âges. On peut penser que ces désirs partagés ont constitué une évidence qui les ont rendus culturellement valides *a priori*, dans la mesure où, n'étant pas réalisables, il n'y avait aucune raison (sauf éventuellement religieuse) de les condamner. Éradiquer son voisin, par contre, était réalisable et nocif à l'harmonie sociale et a fait l'objet d'interdit. La nature même de ces désirs culturellement validés dépendait de l'impossibilité à les réaliser. Actuellement, l'évolution technologique est telle que beaucoup de ces désirs sont devenus réalisables ou abordables. Éradiquer les végétaux ou insectes gênants reste justifié *a priori* (cf. les publicités des firmes agro-chimiques à destination des agriculteurs!) alors même que c'est devenu possible ou presque, c'est à dire alors même que ces désirs ont changé de nature. Les désirs de vie éternelle constituent toujours le moteur des biotechnologies et notamment du transhumanisme, aboutissement logique d'une culture mue par des désirs obsolètes. Quant au désir de proliférer, s'il est profondément ancré en presque chacun d'entre nous tant il est ancien, il ne saurait demeurer un *a priori* indiscutable avec une courbe démographique qui a atteint sa phase presque verticale¹². L'évolution vers l'infini dans un monde fini reste l'indépassable limite à la poursuite de la culture occidentale traditionnelle.

L'éthique générale tient une place énorme dans la culture, puisqu'elle contribue fortement à l'organiser en fonction d'un objectif majeur (ou plutôt transcendant) : la pérennisation de l'espèce humaine. Nous sommes à une époque où, d'une éthique que nous nommons ici « sociale », il devient nécessaire de s'inscrire dans une éthique que nous disons « de la nature », c'est à dire qui prend en compte la nécessité de rester compatible avec l'organisation naturelle. Un obstacle à cette évolution est cependant apparu, qui est l'émergence de l'économisme, qui, transformant un moyen de la vie sociale en but, a transformé l'éthique sociale en une éthique « économiciste », qui prend un certain fonctionnement économique comme bien commun. L'histoire de cette émergence mériterait d'être détaillée et réfléchie, mais ce travail dépasse le cadre du présent rapport. Il conviendra, par contre, par la suite, de développer l'analyse de ce phénomène, dont l'importance sera encore soulignée ci-après.

10 Jacquemart F. in « *Éthique et évaluation* » colloque du HCB à paraître.

11 Le terme actuel de « *bio-agresseur* » est hautement significatif quant à la position du locuteur par rapport à la nature.

12 Les promesses de plateau à 9 milliards d'individus (ce qui est déjà énorme!) supposent une accession à un niveau de vie occidental généralisé, ce qui est écologiquement impossible...

Aborder les problèmes majeurs que posent les impacts sur la nature de nos activités (et de notre mode de pensée) dans le cadre d'une éthique générale essentiellement sociale, ou, pire, économiciste, engendre une déformation de ces problèmes (qui sont mal posés) et une inadéquation des démarches à visée « curative » (dont la monétarisation des services éco-systémiques est une caricature). Il n'est que de considérer la solennité des annonces politiques sur ce sujet (« *la maison brûle...*¹³ ») comparée à l'inefficacité à peu près totale des mesures prises, tant au niveau national qu'international, pour comprendre l'inadéquation fondamentale avec laquelle ces problèmes pourtant majeurs sont abordés. Inadéquation, car les objets du discours sont construits sémantiquement dans le cadre culturel qui les génère et les méthodes de travail correspondent elles-mêmes à l'état culturel existant. Ainsi, la traditionnelle démarche « problème - solution », poursuivie obstinément à l'heure actuelle, ne peut plus fonctionner, du moins pour ce qui concerne le niveau qui nous occupe. Tout problème est énoncé dans les termes du paradigme (culturel, éthique...) dominant et conditionne le champ et la forme des réponses possibles. Si le paradigme dominant est inadéquat, la construction des « solutions » le sera aussi. La démarche en « problème - solution » fonctionne dans une culture structurellement stable (ce qui n'empêche pas son évolution), elle cesse d'être valide *a priori* dans une phase de transition profonde. Si nous reconnaissons cette nécessité d'évolution culturelle et éthique, nous devons alors procéder autrement. Cela ne veut pas dire qu'il faille totalement l'abandonner, d'une part parce qu'il faut vivre durant cette transition alors même que les « nouveaux termes » ne sont pas encore là et d'autre part du fait que l'énoncé global traduisant la situation actuelle revêt cette même forme. Ceci demanderait un développement dédié, que nous proposons de faire dans la suite qui sera (ou non, selon la décision politique) donnée au présent travail introductif. Dans ce cadre de changement culturel majeur (de « *métamorphose culturelle* » selon les termes d'Edgar Morin), les solutions pratiques ne pouvant être explicitement visées, le GIET¹⁴ a proposé de procéder par déconstruction, en mettant à jour des *a priori* essentiels, afin que d'autres, encore inconnus, s'y substituent, en émergence des activités humaines (d'où le terme de « *démocratie réelle* » utilisé par ce groupe, qu'il distingue de « *démocratie participative* », où des questions sont énoncées dans un cadre culturel posé implicitement comme pertinent).

Des *a priori* culturels qui ne sont pas discutés, car « déjà là » et qui sont validés implicitement du simple fait de décider une évaluation des produits des biotechnologies notamment, sans se préoccuper du contexte éthique, on peut en énoncer quatre particulièrement lourds :

- a) la résilience de la nature est infinie ;
- b) tout est capturable par l'économie;
- c) le progrès (au sens qualitatif) est une nécessité ;
- d) les objets peuvent être isolés.

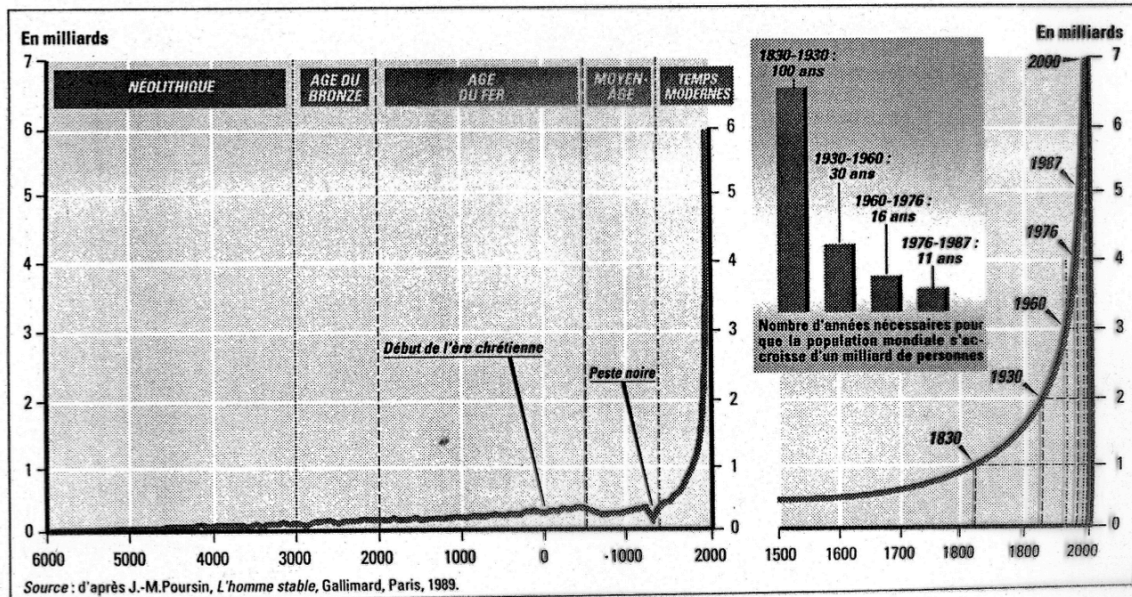
a) La résilience de la nature est infinie (Frédéric Jacquemart)

Les courbes démographiques sont très intéressantes en ce qu'elles concernent des évolutions de systèmes complexes pour lesquelles, dans le cas des populations humaines, on dispose de données assez fournies. Ainsi, si on se penche de manière très globale sur la courbe retraçant l'évolution de la démographie humaine mondiale depuis la nuit des temps, un certain nombre de constatations peuvent être faites, qui peuvent paraître banales, mais qui ne le sont pas tant que ça.

13 « *La maison brûle et nous regardons ailleurs* » a été la phrase introductive du discours de Jacques Chirac lors du Sommet de la Terre de Johannesburg en 2002.

14 Groupe International d'Études Transdisciplinaires. En plus des *a priori* culturels, le GIET s'intéresse aux désirs (moteurs de l'action et du vouloir), aux modes de validation (des énoncés, des décisions etc.) et aux modes de transmission des connaissances et de la culture.

L'évolution de la population mondiale depuis le néolithique



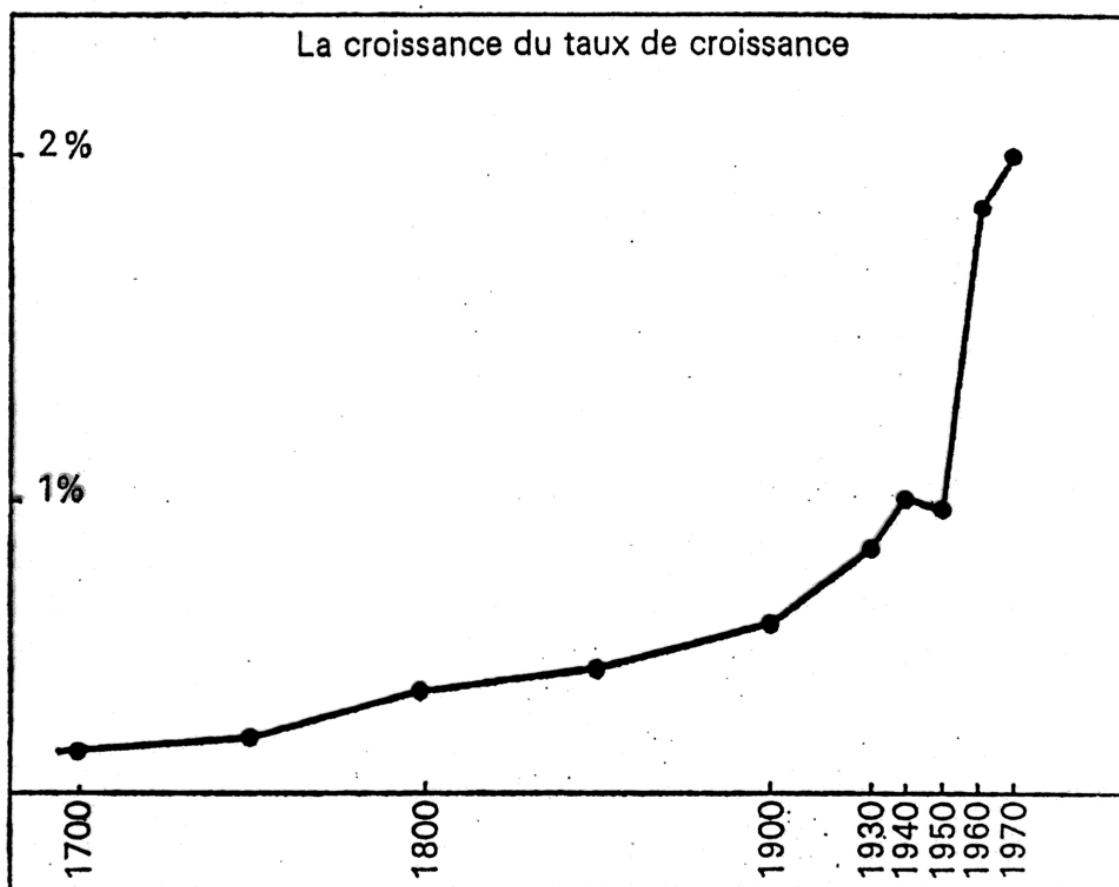
La première constatation concerne l'allure générale de la courbe, qui ressemble à une exponentielle, mais qui en diffère du fait que, comme on peut le voir sur la représentation à droite, l'évolution du taux de croissance, c'est à dire son accélération, est elle-même accélérée et également d'allure exponentielle. Une exponentielle vraie ayant un taux de croissance constant, ce type de courbe a été dit par certains « sur-exponentiel », afin de souligner la fin « explosive » de cette évolution, dans une croissance vers l'infini quasi verticale.

Cette évolution de la démographie permet de distinguer deux grandes phases : la première, très longue, qui n'a pas de début précis (quand commence le début de l'humanité?) mais qui dure, pour Homo sapiens, quelques 150 000 ans, ou 3 millions d'années pour le genre Homo, donc, dans tous les cas, une très longue période pendant laquelle l'accroissement de la population est très faible et une seconde, très courte, qui débute au XVII^e – XVIII^e siècle où la courbe s'incurve pour finalement, c'est à dire maintenant, prendre une allure quasi verticale.

C'est pendant cette longue première phase, de relative stabilité (à l'échelle de temps considérée) où, parallèlement, comme nous le verrons, la technique évoluait très peu, que s'est forgée la base de notre culture, imprégnée, comme le relatent les grands mythes, de notions d'équilibres et de cycles, que rien ne peut durablement affecter, au point que même chaque époque semble éternelle, en dépit des faits passés. Dans un livre dont la référence m'échappe, il était dit « *il y aura toujours de seigneurs et des serfs, comme il y aura toujours des bœufs pour trainer la charrue* ».

La courbe démographique est lissée par l'échelle temporelle choisie, mais une forte perturbation apparaît tout de même avec, au Moyen-âge, l'encoche faite par la peste noire, qui a décimé l'Europe. La courbe marque une descente brutale et profonde. On pourrait s'attendre à ce qu'à partir du point le plus bas, lorsque l'épidémie s'arrête, le processus évolutif reprenne, soit au rythme correspondant à celui en vigueur quand existait un tel nombre d'êtres humains, ou bien, au rythme atteint juste avant l'épidémie. Or, il n'en est rien et la courbe traduit une accélération violente qui, en très peu de temps, ramène le processus démographique là où il se serait trouvé sans cette catastrophe, qui se trouve, en ne considérant que l'aspect numérique, effacée. Cette même

résilience tout à fait impressionnante est retrouvée après les grandes guerres et catastrophes diverses. La courbe suivante¹⁵ montre comment s'effectue ce « retour à la normale » après la guerre de 1940 avec le fameux « baby boom » qui l'a suivi.

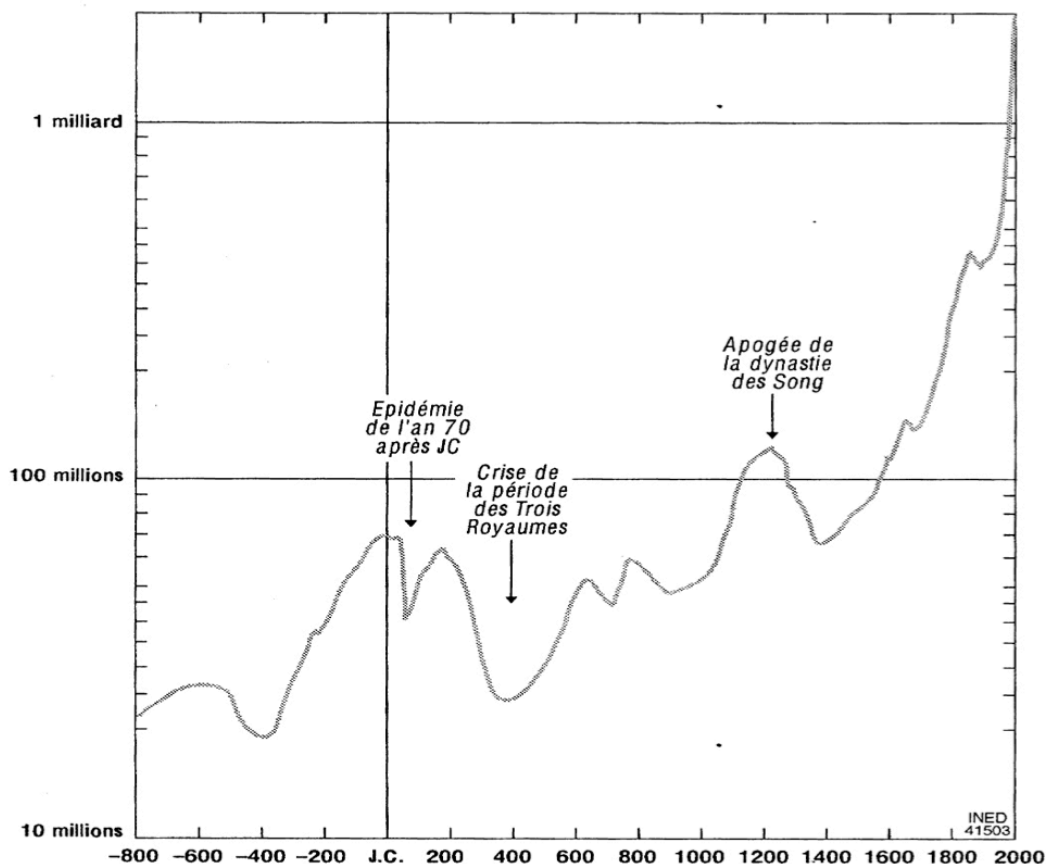


L'évolution de la démographie en Chine, en prenant cette fois une échelle plus petite, a ceci d'intéressant qu'on dispose pour ce pays de données assez précises et que son histoire a été marquée par de nombreux et violents aléas. La courbe¹⁶ montre l'importance des fluctuations liées aux épidémies, aux guerres, aux famines, alors que, pourtant, le processus global conserve son allure sur-exponentielle. Cette résilience, ici, n'implique pas un retour à l'état antérieur d'avant la perturbation comme dans le cas d'une balle en caoutchouc qui reprend sa forme après un choc, mais bien la permanence d'une tendance évolutive, dynamique.

15 François Meyer (1974), *La surchauffe de la croissance, Essai sur la dynamique de l'évolution*, Collection Ecologie, Fayard.

16 Michel CARTIER (2002) Les cahiers de l'Inde N°48.

Évolution de la population de la Chine depuis 3 000 ans

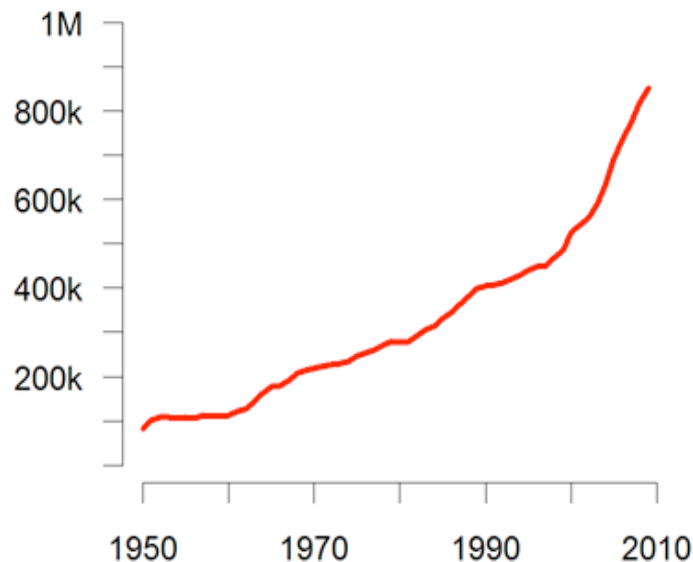


Ce processus démographique est manifestement étroitement lié à un autre processus, techno-scientifique, moins facile à représenter, car on ne dispose pas de paramètre quantifiable global pour ce faire, mais qui doit avoir la même forme¹⁷.

Il est question ici de « techno-science », au sens où, si on peut distinguer la connaissance du savoir-faire, la co-évolution des deux se fait avec une telle intrication qu'elle constitue un seul processus, en tout cas dans le monde actuel. L'évolution de ce processus commence elle aussi par une phase très lente et très longue, où les capacités à agir sur le monde sont avérées, mais encore faibles et relativement stables. Actuellement, l'innovation est quotidienne, les objets des nouvelles technologies sont pratiquement obsolètes à peine achetés, le nombre de publications scientifiques croît exponentiellement, les témoins indirects de cette croissance, comme l'utilisation des ressources naturelles, minérales et énergétiques comme la production de déchets sont aussi en accélération continue.

17 François Meyer (1974), *La surchauffe de la croissance, Essai sur la dynamique de l'évolution*, Collection Ecologie, Fayard.

MEDLINE-indexed articles published per year



Au cours de l'histoire, des opposants à différentes innovations technologiques (arbalète, moulin à vent, métier à tisser, chemin de fer etc.) se sont manifestés, parfois avec force. Au maximum, il en est résulté une gêne passagère à la diffusion de ces techniques, sans que l'évolution globale en soit durablement affectée.

Pour ce qui est des OGM, même en imaginant que les opposants obtiennent mondialement gain de cause (ce qui est peu vraisemblable!) on aurait seulement sauté une étape technologique, sans affecter la forme générale de l'évolution techno-scientifique, même pour le seul domaine des biotechnologies.

Cette résilience extrêmement forte manifestée par ce processus techno-scientifique se traduit très fortement par l'idée selon laquelle « on n'arrête pas le progrès », qui rejoint et complète *a priori* de la résilience infinie de la nature, les deux incitant implicitement à poursuivre le cours des choses, l'action sur la nature étant inéluctablement croissante et sans conséquences majeures.

Ces courbes, elles-mêmes, n'ont pas de résilience. Elles traduisent un certain aspect du fonctionnement d'un (ou plusieurs) système(s) complexe(s) que, dans les cas cités, on serait bien en peine de décrire et même de nommer. S'agissant de la nature, là, le système dont on parle est identifié, bien qu'il ne soit pas possible de le décrire précisément. Bien entendu et on retrouve ici ce qui est développé un peu plus loin dans ce texte à propos de la caractérisation des objets, désigner ce qui est résilient nécessite une intentionnalité permissive du sens. La nature (ou la biogée) est en évolution. De même que pour les courbes démographiques, ce qui retrouve sa forme après perturbation peut être une trajectoire évolutive. Ce peuvent être aussi des trajectoires très complexes dans un attracteur stable pendant suffisamment de temps. Le caractère majeur commun entre ce qui sous-tend les processus démographiques et techno-scientifiques, les sociétés, les éco-systèmes, la biogée etc., est qu'il s'agit de systèmes dissipatifs, loin de l'équilibre. L'idée qui a largement prévalu et qui domine encore le monde scientifique et politique est que lorsqu'on ne sait pas prédire l'étendue des conséquences d'une innovation (ce qui est toujours le cas...) il faut essayer, « comme l'homme a toujours fait », quitte à apporter les modifications qui conviennent si des problèmes surviennent. On en trouve un très bon exemple dans la foi mystique en la surveillance biologique du territoire. Une telle croyance suppose, soit une affirmation d'une résilience infinie de

la nature pour ce qui nous importe essentiellement, c'est à dire la persistance de l'espèce humaine, soit celle de la proportionnalité des causes et des effets associée à la réversibilité de tout effet. Malheureusement, la non-linéarité des relations, présente dans les systèmes complexes loin de l'équilibre, fait que la proportionnalité des causes et des effets n'est pas assurée et qu'il existe dans au moins de nombreux éco-systèmes des points critiques au delà desquels des changements qualitatifs se produisent. Une revue publiée dans *Nature*¹⁸ appuyée sur une bibliographie particulièrement riche et intéressante résume la situation :

« Localized ecological systems are known to shift abruptly and irreversibly from one state to another when they are forced across critical thresholds. Here we review evidence that the global ecosystem as a whole can react in the same way and is approaching a planetary-scale critical transition as a result of human influence ».

Une autre citation du même article précise les enjeux : *« Here we summarize evidence that such planetary-scale critical transitions have occurred previously in the biosphere, albeit rarely, and that humans are now forcing another such transition, with the potential to transform Earth rapidly and irreversibly into a state unknown in human experience ».*

Effectivement, la nature (la biosphère, la biogée...) se retrouverait, dans ces conditions, dans un autre état (un autre attracteur, dans le langage des physiciens), imprévisible quant à sa forme.

L'état actuel du système naturel est manifestement compatible avec la présence de l'espèce humaine en son sein. Cette présence a une probabilité inconnue d'être possible dans un autre état global de ce système. C'est bien la résilience d'une nature avec laquelle l'espèce humaine est compatible qui est notre sujet et non la résilience absolue, dépourvue de sens. Se rendre compte de la possibilité même d'un changement global du système naturel qui affecterait profondément l'espèce humaine (même si elle ne disparaît pas) entraîne la nécessité d'un changement d'éthique générale, l'intérêt général majeur étant constitué par notre survie dans des conditions qui ne soient pas dramatiques. Il est clair que l'évaluation des technologies, analytique et causaliste, n'est pas adéquate dans ce changement de contexte.

b) Tout est capturable par l'économie (ou l'économisme devient une éthique)

(Nicolas Bouleau et Catherine Larrère)

Le public est habitué à l'idée que l'économie gère les "valeurs" et on lit fréquemment des remarques telles que *"pour savoir qui sont les meilleurs professeurs il n'y a qu'à voir combien les étudiants et leurs familles sont prêts à payer pour suivre les cours"* ou encore *"légalisez le commerce des reins et non seulement vous supprimerez les listes d'attente mais en plus vous éviterez un sordide marché noir"* (The Economist). Cette idée que l'économie de libre échange est capable, à condition évidemment de s'y prendre convenablement, de réguler les questions comportementales et morales, est facilement acceptée, et même présentée souvent comme la seule issue d'une négociation bien menée pour éviter les violences, au point que les problèmes d'environnement et d'innovation technique disparaîtraient si on les incluait dans la logique économique.

Cette façon de penser, très répandue, n'aurait pas une telle audience si elle ne s'appuyait pas sur une tradition philosophique forte, structurée et solide dont il convient d'examiner l'émergence historique et les bases si l'on veut en comprendre les conséquences et les limites. Aujourd'hui cette "vision" se situe dans le sillage de

18 Barnosky A.D. et al. (2012) « *Approaching a state shift in Earth's biosphere* » *Nature* 486:52-58.
doi:10.1038/nature11018

Charles Peirce, John Dewey et William James, initiateurs du mouvement désigné sous le terme de pragmatisme ou de pragmatisme américain. Mais ces trois auteurs s'appuyaient eux-mêmes sur une tradition plus ancienne qui est la branche anglo-saxonne du positivisme, plus féconde que sa sœur continentale parce que confortée par les idées d'utilitarisme de Bentham reprises et étendues par John Stuart Mill.

Quelques traits marquants du courant utilitariste et pragmatiste.

Au lieu de tracer des limites philosophiques à la connaissance scientifique comme fait Comte en écartant les causes premières et les fins ultimes, au lieu de déclarer que la science est la découverte des *lois* qui régissent la nature et la société, John Stuart Mill s'en remet à la pratique sociale des gens dans leur intelligence concrète. Il établit les bases d'une doctrine non révélée qui *reste à compléter* dans ses préceptes mais qui est sûre de fonctionner par son ancrage dans le quotidien dès lors que la société autorise une certaine liberté d'expression et d'action individuelle. Cette orientation, très habile, de l'*Utilitarisme* de Mill s'accorde sans heurter personne avec tous les systèmes politiques où est laissé à l'individu une marge suffisante de liberté de penser, de s'exprimer et d'agir dans les limites classiques de ne pas empiéter sur celle des autres. Il faut pour cela que les cultes n'induisent pas de pouvoir juridique ni politique, ce qui s'harmonise bien avec le protestantisme mais n'exclut en fait aucune obédience si ce n'est les interprétations violentes des dogmes révélés.

Notons — ce qui nous intéresse ici pour comprendre les origines de "l'économisation" — que l'on trouve déjà dans l'utilitarisme la réduction de tous les plaisirs à une même jauge (qu'elle soit substantielle, comme unité de plaisir ou subjective comme préférence), et la possibilité de les agréger, de les comparer. En plus, aborder les choses de cette façon, a le mérite que l'on dispose déjà d'un argument critique : cette approche conséquentialiste ne prenant pas en considération la déontologie (les droits, la vie, etc....) expose au sacrifice de l'insacrifiable. Si l'objectif est le bonheur du plus grand nombre, et qu'il se mesure en agrégeant les bonheurs individuels, il peut arriver que le bonheur du plus grand nombre s'obtienne par le moyen du malheur d'un petit nombre (il se peut qu'une société ait globalement avantage à l'esclavage de certains de ses membres) ou que le sacrifice d'un seul permette de réaliser le bonheur du grand nombre. Or, rien dans l'utilitarisme ne permet d'écarter ce genre de cas où les droits ou la liberté d'un ou de quelques uns sont sacrifiés à l'avantage du plus grand nombre.

A la grande différence de Comte et aussi de Marx, Mill ne cherche pas à définir ce que sera l'organisation de la société harmonieuse. Il ne pousse pas la dialectique jusqu'à la synthèse. D'ailleurs son *Système de logique déductive et inductive* n'est pas une logique binaire mais plurielle puisqu'elle est un appel à la diversité des points de vue.

Sa doctrine morale et politique est compatible avec la vie en Europe au milieu du XIX^e siècle et redonne une référence valable pour l'action politique au moment où les risques de déchirements de la société dus à l'industrialisation sont grands. Mais alors que la philosophie de Marx conclut à changer le monde parce que l'histoire est le résultat des transformations des conditions matérielles par l'homme et engage les ouvriers à conquérir les moyens de production dans le mouvement politique du communisme, alors que celle de Comte considère que la seule base pour la société ne peut être que la science et que de celle-ci émane une sagesse qui peut fonctionner aussi bien qu'une *religion*, Mill n'explicite aucune utopie finale, il garde, dans une verve piquante et sarcastique, la seule idée que la possibilité du débat pluraliste est en elle-même plus importante que les conclusions des joutes politiques.

Mais il est une autre raison pour laquelle l'utilitarisme positiviste de Mill ne s'est pas délité, il fut relayé au tournant des XIX^e et XX^e siècle par une doctrine plus approfondie qui est allé chercher ses fondements logiques beaucoup plus en amont jusqu'à révolutionner l'ontologie traditionnelle, le pragmatisme.

Rappelons les thèses majeures des fondateurs de ce mouvement en général moins connu en Europe. Charles Peirce est une grande figure de la logique ayant apporté des vues lumineuses à la linguistique et à la sémiologie. Le cœur de sa philosophie qui fonde le point de vue a-ontologique du pragmatisme est de considérer que *les possibilités d'agir du sujet peuvent être objectivement appréhendés par la science*. L'analyse de cette argumentation est importante étant donnée sa place considérable dans la pensée contemporaine. Plus d'un siècle après par exemple, Richard Rorty y fait fidèlement référence "*en bon pragmatiste, je me conforme à l'exemple de Bain et de Peirce en traitant les croyances comme des habitudes d'action*"[1] ou encore "*nous supprimons le vecteur 'représentation' en faisant de la croyance, à l'image de Peirce, une règle d'action plutôt qu'une sorte*

d'image confectionnée dans notre étoffe mentale"[2]. Cette posture philosophique qui, devant les diverses lectures du monde, ne veut voir que les possibilités d'actions des sujets concernés, s'accorde à merveille avec une conception socio-politique où tout est régi par les forces économiques.

L'article fondateur de Peirce "*La logique de la science*"[3] se trouve avoir été écrit en français, ce qui en facilite l'exégèse. Le sous-titre "*Comment rendre nos idées claires*" en indique l'ambition. Après avoir montré que, malgré ses bonnes intentions, Descartes n'est précisément pas clair sur la méthode, ni la plupart des philosophes, Peirce propose "*une méthode qui fait atteindre une clarté d'idées bien supérieure à «l'idée distincte» des logiciens*". Elle consiste, par l'analyse et la réflexion la plus scientifique possible, à substituer à l'objet de nos croyances — terme qu'il emploie dans le même sens que convictions — les moyens d'agir qu'elles entraînent. La croyance a trois propriétés "*d'abord elle est quelque chose dont nous avons connaissance ; puis elle apaise l'irritation causée par le doute, enfin elle implique l'établissement dans notre esprit d'une règle de conduite, ou, pour parler plus brièvement d'une habitude*" (c'est Peirce qui souligne). "*On sera à l'abri de tous ces sophismes, poursuit-il, tant qu'on réfléchira que toute fonction de la pensée est de créer des habitudes d'actions et que tout ce qui se rattache à la pensée sans concourir à son but en est un accessoire, mais n'en fait pas partie. S'il existe quelque ensemble de sensations qui n'ait aucun rapport avec la manière dont nous agissons dans une circonstance donnée — comme par exemple quand on écoute un morceau de musique — nous n'appelons point cela penser*". Ni les philosophes, ni les psychanalystes, ni beaucoup d'hommes de science ne se retrouveront dans cette affirmation, penser n'est-ce pas plutôt abandonner des habitudes d'action ? Mais venons-en au plus important, Peirce formule un principe central qui deviendra la clef de voûte de l'édifice a-ontologique du pragmatisme : pour atteindre le meilleur degré de clarté dans la compréhension il convient de "*considérer quels sont les effets pratiques que nous pensons pouvoir être produits par l'objet de notre perception. La conception de tous ces effets est la conception complète de l'objet*". De telle sorte que l'objet en tant que tel devient inutile et Peirce entend bien pousser l'idée jusque là, ce qui le met aussitôt en face de la grande question du réel. Il y répond de la façon suivante "*Ainsi le réel peut se définir : ce dont les caractères ne dépendent pas de l'idée qu'on peut en avoir*". Cette définition, de prime abord, est simplement très restrictive, «l'objet d'amour» n'appartient pas à cette réalité là ! Mais si on porte un regard plus épistémologique, on se convainc qu'en fait il n'y a guère de réel scientifique qui satisfasse cette règle. Ce qui ne va pas, c'est que la propriété de ne pas dépendre de l'idée qu'on s'en fait est quasiment annihilante, ne passe à travers ce crible qu'un résidu extrêmement pauvre. Déjà l'arithmétique n'a pas cette propriété, ni la physique quantique, etc.

Le cœur de la position de Peirce, exprimé dans sa conclusion, dénote un positivisme très réducteur nous y reviendrons dans un instant.

John Dewey quant à lui est davantage préoccupé par les questions sociales. Plus de quatre-vingts ans ont passé depuis l'ouvrage de Tocqueville *De la démocratie en Amérique* lorsqu'en 1915, Dewey écrit *Democracy and Education*, la population des Etats-Unis a plus que triplé. L'immigration, stimulée par le *Homestead Act* (1862) accordant 160 arpents aux pionniers, introduit à un rythme croissant une population hétérogène où la proportion de britanniques diminue régulièrement. L'assimilation des nouveaux arrivants est de plus en plus difficile et des conflits de toutes sortes apparaissent ethniques, linguistiques, et confessionnels. L'abolition de l'esclavage ne peut se faire que par la guerre civile (1861-1865), et l'essor industriel extrêmement rapide, renforce les tensions, par la condition des ouvriers peu protégés et l'apparition de sous-prolétariats (coolies chinois pour la construction du chemin de fer par exemple). Ainsi que Max Weber l'a analysé[4], les disparités ethniques et religieuses ont des conséquences directes et profondes sur la vie économique qui est fondée sur la confiance : on est peu enclin à prêter de l'argent à quelqu'un qui ne croit pas en Dieu, car aucune sanction ne l'obligera à rendre son dû.

Dewey fait partie des intellectuels qui œuvrent à trouver la voie d'un possible vivre ensemble. Ses thèses influenceront l'idée de "*melting pot*" qui dans les années 1920 présentera la fusion des différents peuples et des diverses cultures comme l'avenir souhaitable pour une nouvelle race d'hommes. Même si les positions pédagogiques de Dewey ont été critiquées et furent largement abandonnées dans les années 1950 pour leur tendance à niveler par le bas et à édulcorer la compétition, ses idées philosophiques conservent une vive actualité.

Considérant que le cloisonnement des groupes d'origines diverses et la multiplicité des confessions, conventicules et sectes, engendrent des heurts qui sont de l'énergie dépensée en pure perte, Dewey fonde ses espoirs sur l'éducation et se donne pour tâche de chercher les principes philosophiques susceptibles de lui donner une pleine efficacité. Elle a trois fonctions principales à ses yeux.

D'abord de *simplifier* les sollicitations dues au contexte social. "Les affaires, la politique, l'art, la science, la religion, réclament de l'attention ; il en résulterait la confusion. Le rôle premier de l'organe social que nous appelons l'école est de fournir un environnement simplifié. Il sélectionne les registres qui sont vraiment fondamentaux et que le jeune peut vraiment appréhender. Ensuite il établit un ordre progressif utilisant les facteurs acquis en premier comme moyen pour acquérir des vues sur ce qui est plus compliqué"[5].

En second lieu "*la sélection [des contenus] n'a pas seulement pour but de simplifier mais d'écarter ce qui est indésirable. Chaque société est encombrée avec des trivialités, du bois mort du passé et avec ce qui est positivement pervers. L'école a le devoir d'omettre ces choses de l'environnement qu'elle propose et de faire en sorte de contrecarrer leur influence*". On retrouvera ces principes éducatifs comme des traits du pragmatisme. Ici, il s'agit bien d'effacer ce qui est superflu.

En troisième lieu, et c'est là que la doctrine apparaît dans toute son ambition, il ne suffit pas de prendre le plus grand commun diviseur des diverses cultures et religions, l'éducation a une véritable mission d'*émancipation*. "*C'est le rôle de l'environnement scolaire de contrebalancer l'influence de l'environnement social et de veiller à ce que chaque individu ait la possibilité de s'échapper des limitations du groupe social dans lequel il est né pour entrer en relation vivante avec un environnement plus large*".

Simplification et effacement sont des traits qui resteront les piliers de la philosophie pragmatiste : beaucoup de choses sont inutiles parmi ce que nous ont légué les civilisations passées, en particulier sont inutiles les positions intransigeantes excluant toute négociation, les croyances à une ontologie absolue et les séparations en catégories radicalement exclusives.

Par rapport aux deux figures précédentes, William James (1842-1910) mérite une place à part. Sa pensée pluraliste et anti-intellectualiste est plus ouverte à l'esprit religieux et se démarque du positivisme et du rationalisme classiques. Il définit lui-même sa philosophie comme "*un empirisme radical, un pluralisme, un «tychisme» qui représentent l'ordre comme étant peu à peu conquis et toujours en procès*"[6]. Son idée de pluralisme, présente dans toute son œuvre et titre de son dernier ouvrage *A Pluralistic Universe*, est une sorte de pan-psychisme, à la fois compatible avec une tolérance générale à toutes les relations d'échange économique, et une écoute de toute la nature vivante et sociale.

Dans le sillage de ces trois fondateurs il convient de citer Hilary Putnam mathématicien et logicien (*Ethics without Ontology* 2004), John Austin sociologue du langage (*Quand dire c'est faire* 1962), et Richard Rorty philosophe (*L'homme spéculaire* 1990, *Objectivisme, relativisme et vérité* 1994), qui témoignent, entre autres, de la vitalité de ce mouvement encore actuellement.

L'économisation des débats éthiques

C'est sur ce socle philosophique que l'économie libérale va pouvoir s'appuyer au XX^e siècle pour prolonger et perfectionner les thèses néoclassiques alors que se creuse politiquement l'opposition des deux blocs avec notamment le célèbre plaidoyer de Friedrich Hayek pour la décision décentralisée (1945). L'effondrement de l'Union Soviétique en 1989 d'une part, la mise en place des marchés financiers dérivés dans les années 1980 d'autre part, ouvrent une période où l'économie de libre échange prend une dimension mondiale : la globalisation. La question qui nous intéresse est celle de l'extension de la logique économique non pas géographiquement mais dans le champ du social et de l'environnement. On peut dégager deux degrés dans la tentative d'*économisation* : d'abord ce qu'on doit appeler *le passage de l'éthique à l'aléa* et ensuite *le passage des risques aux coûts*.

Le passage de l'éthique à l'aléa

Il s'agit d'un processus dans lequel le débat éthique qui entend construire politiquement une voie provisoirement acceptée qui sera réorientée en fonction des nouveautés rencontrées, est ramené à la considération des possibilités d'agir de chacun devant un aléa objectivé. Nous voyons ici clairement les deux points d'appui positiviste (objectivation) et pragmatiste (réduction du réel aux moyens).

Réexaminons au détail les présupposés sur lesquels s'appuie cette réduction.

a) Le programme de Peirce est un espoir typiquement positiviste. Il conclut son article-manifeste ainsi : *"Tous les adeptes de la science sont pleinement convaincus que les procédés d'investigation, pourvu seulement qu'on les pousse assez loin, fourniront une solution certaine de toutes les questions auxquelles on les appliquera. [...] Ils pourront d'abord obtenir des résultats différents ; mais chacun d'eux perfectionnant sa méthode et ses procédés, les résultats convergeront constamment vers un point central prédestiné. Ainsi pour toutes les recherches scientifiques. Des esprits très divers peuvent se lancer dans des recherches avec des vues tout opposées ; mais à mesure qu'avance l'investigation, une force extérieure à eux-mêmes les entraîne vers une seule et même conclusion. Cette activité de la pensée qui nous emporte, non pas où nous voulons, mais à un but fixé d'avance, semble être l'effet du destin. Modification des points de vue, choix d'autres faits comme sujets d'étude, inclination naturelle de l'esprit même, rien ne permet d'échapper à l'opinion fatale. Cette grande loi est contenue dans la notion de vérité et de réalité. L'opinion prédestinée à réunir finalement tous les chercheurs est ce que nous appelons le vrai, et l'objet de cet opinion est le réel. C'est ainsi que j'expliquerai la réalité."*

Peirce écrit que les savants *"pourront d'abord obtenir des résultats différents"* le problème, est que ce *"d'abord"* peut durer très longtemps, parfois indéfiniment. Ensuite *"les résultats convergeront"*. Uniquement lorsque les concepts interprétatifs utilisés s'avèreront avoir une portée suffisante pour la situation étudiée, ainsi que Thomas Kuhn l'a fort bien montré, sinon celle-ci restera jusqu'à nouvel ordre inexplicée, comme ce fut le cas pour le périhélie de Mercure dans la période de Le Verrier à la relativité. *"Vers un point central prédestiné"* : cette prédestination est bien l'idée positiviste que le réel est unique et se découvre en soulevant le grand voile de l'ignorance. Et lorsqu'il ajoute que ce qui entraîne les savants vers ce point est *"une force extérieure à eux-mêmes"* n'est-ce pas la métaphysique qui revient au galop dans cette emphase quasi-heideggerienne, force *"qui nous emporte non pas où nous voulons"* mais par l'effet d'un *"arrêt du destin"*[7].

Dans tout ce texte, Peirce confond croyance et interprétation. Une interprétation n'est pas une conviction, on peut vivre avec plusieurs interprétations : quotidiennement il est plus opératoire de penser que le soleil tourne autour de la terre et, beaucoup plus rarement, s'il s'agit de comprendre le mouvement apparent des planètes, on adoptera l'interprétation héliocentrique. Les phénomènes économiques sont susceptibles de plusieurs interprétations et le choix raisonné d'une de ces interprétations par un agent économique fonde son engagement alors qu'il sait que d'autres interprétations existent.

En se référant aux possibilités d'action pour définir le réel, Peirce raisonne comme si ces possibilités étaient explicitement connues ou connaissables, soit par l'acteur, soit par l'objectivité scientifique. Mais tel n'est jamais le cas, pensons à un étudiant ayant à faire l'explication d'un poème ou d'un texte politique... Il y a là un point faible qui se répercute sur toute la pensée pragmatiste. *Ce n'est que dans un monde où il y aurait unicité du développement latent de la science, que l'on pourrait s'en remettre, en toute confiance, aux actions de chacun avec les moyens dont il dispose.* C'est bien le credo positiviste. Au contraire le processus de la connaissance, même lorsqu'elle poursuit des ambitions objectives et universelles, est beaucoup plus complexe et en particulier les croyances-interprétations ne sont pas de simples points de vue dont la pluralité est nécessairement transitoire. Les interprétations sont des outils fondamentaux de la création de connaissance, dont le caractère éventuellement unique et universel dépendra, ensuite, d'une foule de facteurs que les épistémologues sont loin d'avoir fini de clarifier. Elles sont précieuses dans leur pluralité comme aliment du politique.

La simplification et l'élagage prônés par Dewey sont un appauvrissement du social.

Il pense que cela va permettre une plus grande vitalité, une plus grande disponibilité économique, et finalement un meilleur épanouissement : *"il y a dans une région comme la nôtre une variété de races, d'affiliations religieuses, de divisions économiques"* mais tous ces membres ont *"des buts communs, et l'activité de chacun est modifiée par sa connaissance de ce que font les autres"*.

D'un point de vue philosophique Dewey reproche aux diverses théories de la connaissance héritées des pensées classiques de séparer, de diviser, de cloisonner tout et partout. *"Elles posent ou impliquent certaines divisions de base, séparations, ou antithèses, appelées techniquement dualités. Nous avons trouvé l'origine de ces divisions*

dans les hauts murs qui délimitent les groupes sociaux et les classes à l'intérieur d'un groupe : comme entre riches et pauvres, hommes et femmes, nobles et roturiers, ceux qui décident et ceux qui subissent." Il prône une pensée de la *continuité*. Les dualités n'ont pas à être dépassées par un envol au royaume transcendantal qui rétablit finalement une distinction entre ce bas-monde d'apparences et une inaccessible essence de la réalité. La continuité résulte simplement de l'usage rationnel de nos facultés qui sont capables de comprendre et les lois générales et les choses particulières.

Ce souci de *fusionner* les termes des dualités s'est accentué dans les développements plus récents du pragmatisme. Il sera fortement argumenté par Richard Rorty en diverses occasions. Par exemple notant qu'Umberto Eco insiste pour distinguer soigneusement *interprétation* et *utilisation* d'un texte, Rorty écrit "*Il s'agit, naturellement, d'une distinction que nous autres, en tant que pragmatistes, n'éprouvons pas le désir de faire. Dans une conception comme la nôtre, la seule chose qu'un individu puisse jamais faire d'une chose consiste à l'utiliser*"[8]. Notons que le rejet par les pragmatistes des dualismes, des couples d'opposition les conduit à rejeter la dichotomie des faits et des valeurs, ce qui éloigne du positivisme, mais qui est bien commode pour qui veut réduire la morale (valeur) à de l'économie (données quantitatives).

Un aspect paradoxal dans la pensée de Dewey est que ses idées de simplification et d'élagage comme mode de "*gestion*" du social se trouvent remarquablement bien mises en œuvre par la logique de l'économie libérale et les techniques de "*management*". Il en est tellement conscient qu'il s'en défend et a senti le besoin de mettre en garde contre les excès qu'il y aurait à confier toute décision à l'économie.

Le passage des risques aux coûts

Certains risques sont familiers aux économistes et pris en compte dans le *corpus* néo-classique. Après l'ouvrage fondateur de Von Neumann et Morgenstern on considère que les agents, investisseurs et entrepreneurs, sont plus ou moins "averses" au risque et adoptent des stratégies plus ou moins prudentes face aux imprévus, d'où il résultera certaines *espérances* de gains et des aléas résiduels représentés par des *variances*. Dès lors, comment faire entrer tous les risques dans cette logique pour que les comportements les prennent en compte au sein de la rationalité économique?

En matière de risques technologiques, accidentels ou liés à l'innovation, vis à vis du social ou de l'environnement, l'immersion des choix dans le champ économique se fait par une procédure particulière, l'analyse coût-bénéfice, qui détermine la mise en marché des objets ou des services "dans une perspective de retour sur investissement"[9] ou de dépense publique optimisée.

L'analyse coûts-bénéfices, ou ACB, est née d'une préoccupation de l'administration d'utiliser au mieux les deniers de l'Etat pour le choix des projets. Comment décider entre l'amélioration des caractéristiques d'une route nationale et un prolongement autoroutier plus onéreux mais qui fait gagner un quart d'heure à des millions d'usagers par an et épargne des vies humaines ?

Les économistes ont mis au point plusieurs méthodes dans le cadre de "l'économie néo-classique du bien-être", pour évaluer les impacts immatériels, relatifs aux goûts, aux croyances et aux valeurs morales.

La première est celle des *préférences révélées* qui utilise divers raisonnements pour extrapoler ces valeurs à partir des prix de produits marchands. Par exemple on approchera le bien culturel "pouvoir voir la mer" par la différence de prix entre les chambres d'hôtel avec ou sans vue sur la mer. Ou bien par exemple on se servira du montant des dépenses faites par les ménages ou les usagers pour se protéger contre une nuisance. D'autres méthodes sur le coût des pollutions font intervenir les frais dues aux maladies etc.

Mais cette approche est insuffisante lorsque le projet a des caractéristiques vraiment nouvelles et peu comparables. Là intervient la méthode des *préférences déclarées* encore appelée de *l'évaluation contingente*. Elle se fonde sur des questionnaires qui demandent aux personnes concernées combien elles sont prêtes à payer pour profiter des avantages ou être épargnés par les nuisances, ou prêtes à recevoir pour accepter les nuisances ou ne pas profiter des avantages. A partir de ces informations, par un certain nombre d'*agrégations* et d'*actualisations* pour se ramener à la monnaie d'aujourd'hui, on est en mesure d'estimer et de classer tous les projets.

C'est en s'appuyant sur ce genre de techniques que des solutions ont été proposées pour "internaliser" la gestion de la biodiversité : la quantification repose ici sur le partage en deux catégories d'espèces. D'une part *la biodiversité remarquable* regroupant celles qui sont considérées par les instances *ad hoc* comme *menacées*, on

calcule pour elles les frais de maintenance et d'entretien comme cela se passe pour les monuments historiques. D'autre part *la biodiversité ordinaire* qui comprend les autres espèces pour lesquelles on calcule *le service écologique* qu'elles rendent, depuis les procaryotes (bactéries) jusqu'aux eucaryotes (espèces supérieures) par les méthodes classiques de l'analyse coûts-bénéfices. On serait alors en mesure d'acheter et de vendre toute partie de la nature ou de l'échanger contre des biens ou services déjà quantifiés par l'économie.

Les faiblesses et le côté primaire de cette démarche qui crée des marchés artificiels pour des choses — telles que bonne santé, longue vie, air pur — qui ne sont pas vendues ni achetées, ont été dénoncées souvent[10]. On peut les résumer en disant que *l'analyse coût-bénéfice évacue le politique*.

De nombreux aspects se traduisent dans les faits par des "abus de pouvoir" de cette rationalité :

- les riches sont prêts à payer plus pour éviter les mêmes désagréments,
- il n'y a pas d'usager "statistique", [11]
- les individus, en fait, veulent prendre soin d'autres individus, ils ne sont pas guidés par un simple égoïsme,
- les dégradations irréversibles ne sont pas assimilables à des pertes d'argent,
- le futur est trivialisé dans des rubriques d'aujourd'hui.

Un point de portée générale mérite d'être souligné, c'est le schématisation réductionniste avec lequel on traite *la dimension temporelle*. Philosophiquement le temps c'est ce qui change. Grâce aux mathématiques, non seulement par l'actualisation, mais aussi par le fait même de figer les goûts dans des montants monétaires, on gèle les préférences à l'avance dans des catégories répertoriées, ne laissant pas de place à des modifications en réponse à des informations nouvelles, à la découverte de nouveaux enjeux ou de nouveaux compromis. Le principe d'un processus délibératif est faussé. Voter n'est pas la même chose qu'acheter. En matière de risques l'ACB tombe dans le piège fondamental de la formalisation qui consiste à figer des significations dans des écritures mathématiques qui se sépareront de plus en plus au cours de leur traitement des signifiés qui font les menaces[12]. On court-circuite les institutions politiques destinées à la représentation des citoyens.

Quant au résultat de cette procédure, peut-on dire qu'attribuer une valeur économique à l'environnement pour que les dommages qui lui sont fait *coûtent* et que le bilan des projets et des innovations en soit modifié, permet de le préserver ? Au moment où la comptabilité est faite pour la décision, les dommages ne peuvent pas être bien connus. L'analyse coût-bénéfice fournit une réponse rapide au débat dont l'effet principal est de permettre, sur la base de la rentabilité, de substituer aux services éco-systémiques des produits artificiels qui ne sont des "équivalents" qu'aujourd'hui selon cette estimation comptable. On a oublié les propagations d'effets secondaires et les questions d'irréversibilité.

Plus généralement le long terme est occulté par le court terme. Les propensions immédiates ont un poids décisionnel prépondérant dans toutes ces approches pour la raison évidente que c'est leur futur immédiat que les ménages et les agents économiques perçoivent le mieux, mais aussi parce que la définition d'un long terme souhaité relève d'options politiques de société qui portent bien au delà de ce que les acteurs ont en main de par leurs possibilités budgétaires. La définition des possibles et leur regroupement en options bien définies est le cœur même du processus démocratique.

3. La réduction du citoyen au consommateur peut mener où personne ne veut.

Si seules comptent les possibilités d'action de chacun, dans un monde qui serait "tout économique" justifié ou non par une base pragmatiste, chaque individu se trouve dans une situation décisionnelle très particulière : n'ayant aucun rôle sur les choix globaux et de long terme, il ne peut que restreindre ses choix à une optimisation en fonction de ses capacités financières selon la grille de sa "fonction d'utilité" pour un consommateur et de sa "fonction de production" pour un entrepreneur, en supposant le monde, social et environnemental, *ne varietur*. Ce point a été souligné par les sociologues Ulrich Beck et Antony Giddens dans le cadre de leur enquête sur le modernisme qu'ils appellent "réflexif". Il se peut fort bien, dans une telle logique, que beaucoup d'individus prennent certains choix qui sont pertinents pour eux si le monde est ce qu'il est, mais que le résultat de tous ces choix aille dans une direction globale que personne ne souhaite.

C'est typiquement le cas en matière énergétique et d'utilisation de ressources non renouvelables, mais le phénomène peut concerner aussi les techniques périnatales, les choix moraux etc. L'absence de la dimension

globale est ressentie par le citoyen comme un manque ainsi que le révèlent les jurys citoyens par exemple en Grande Bretagne qui montrent que les gens souhaitent que les nouvelles technologies soient utiles pour l'ensemble de la société et en cohérence avec la protection de l'environnement. [13]

Autrement dit la dissolution des difficultés éthiques dans l'économie, oblige une "marche en crabe" de la société, elle ne peut plus faire autrement que de se plier au résultat de la somme des désirs individuels qui ne sont fondés dans l'esprit des gens que si la société *ne les prend pas en compte*.

[1] R. Rorty, « *Objectivisme, relativisme et vérité* », PUF 1994, p.106.

[2] *op. cit.* p.144.

[3] *Revue philosophique de la France et de l'étranger*, VII, 1879, 39-57.

[4] Max Weber, « *Les sectes protestantes et l'esprit du capitalisme* » (1906) in *L'éthique protestante et l'esprit du capitalisme*, Plon 1964.

[5] J. Dewey, « *Democracy and Education, an Introduction to the Philosophy of Education* » (1916).

[6] « *A Pluralistic Universe* », Hilbert lectures at Manchester College on the Present Situation in Philosophy, Longman, Green and Co, 1909; trad. *Philosophie de l'expérience, un univers pluraliste*, Les empêcheurs de penser en rond 2007.

Le terme tychisme de *tyché*, hasard, est repris de Peirce qui l'introduisit pour désigner une vision du monde en transformation permanente et imprévue.

[7] « *l'essence de la technique n'est pas simplement l'œuvre de l'homme qu'une supériorité et souveraineté humaines pourraient dompter par une attitude morale appropriée.* » M. Heidegger, *Was heisst denken ?* (1954).

[8] Eco U., *Interprétations et surinterprétations*, P.U.F. 1996.

[9] Cf. M.-H. Parizeau « *L'éthique des nanotechnologies peut-elle se limiter à évaluer des risques ?* » Colloque « Recherche et innovation: vers une éthique de la responsabilité » 4-5 nov. 2012.

[10] Voir notamment N. Hanley « *Are there Environmental Limits to Cost Benefit Analysis ?* » *Env. and Resource Economics* 2 (1992) 33-59, et surtout le remarquable article de F. Ackerman et L. Heinzerling « *Pricing the priceless : Cost-Benefit Analysis and Environmental Protection* » *Univ. of Pennsylvania Law Review* Vol 150 (2002) 1553-1584.

[11] Remplacer une catégorie ou sous-catégorie de population par quelque chose qui serait "moyen" selon tous les critères est non seulement grossier évidemment, mais généralement contradictoire. Cf. A. Desrosières « *La politique des grands nombres, Histoire de la raison statistique* », La Découverte, 2000.

[12] Voir sur ce sujet : « *Malaise dans la finance, malaise dans la mathématisation* », Nicolas Bouleau, *ESPRIT*, fév. 2009, p.37-50.

[13] M.-H. Parizeau loc. cit

c) Un a priori culturel : la valorisation du progrès

(Catherine Larrère)

La modernité a lié la domination technique de la nature à son projet d'émancipation politique et sociale (respecter l'égalité de chacun, abolir la pauvreté, l'ignorance, la maladie, la faim...). Mais alors que les changements politiques et sociaux ont toujours fait l'objet de débats et sont soumis à des procédures réglées par avance, le progrès technique semble aller de soi. Comme le remarque Ulrich Beck « *la mise en place des innovations technico-économiques se soustrait à la légitimation politique et dispose même (...) d'une sorte de puissance d'affirmation immunisée contre les critiques* »¹⁹. Alors même que la capacité des techniques nouvelles à transformer notre vie sociale l'emporte sur les modifications directement politiques, l'innovation technique est valorisée pour elle-même.

Cette idée que ce qui est nouveau va nécessairement vers le mieux et doit donc être adopté, ne va nullement de soi et constitue l'un des aprioris culturels de la modernité. Les sociétés, jusqu'alors, s'étaient plutôt montrées conservatrices, ou traditionalistes, valorisant les mœurs ou les coutumes des anciens. Cela a pu être expliqué (par ces sociétés elles-mêmes) de différentes façons. Il y a l'idée que l'histoire est nécessairement éloignement d'un état originel supposé meilleur, et que l'on ne peut améliorer la situation présente qu'en revenant à l'état premier : c'est ce que Machiavel appelle le « retour aux principes », et c'est en ce sens que l'on parle de « réforme » dans le mouvement religieux qui a donné naissance à la « religion prétendument réformée », même si le résultat produit a plutôt été une nouveauté sans précédent. Lorsque Montaigne affirme « *je hais la nouveauté* » et adopte l'axiome sceptique selon lequel il faut se conformer aux coutumes de son pays, il n'accorde aucune valeur éminente à celles-ci. Simplement, ce qui est a sur ce qui n'est pas (et qui est seulement possible ou qui devrait être) l'incontestable avantage de l'existence : même un sceptique peut accepter cela. Avec ce qui est, on sait de quoi il s'agit, alors que l'on ne sait pas ce qui nous attend avec ce qui n'est pas encore, et pourrait ou devrait être. Conséquence : ce qui est doit continuer à être. Proposition que l'on peut modérer en « ce qui est doit continuer à être à moins que l'on ait de très bonnes raisons de s'y opposer » (par exemple, de ce que l'esclavage avait toujours existé dans les sociétés, il ne fallait pas nécessairement conclure qu'il devait continuer à être). Mais cela signifie que ce sont les partisans de l'innovation qui doivent justifier sa nécessité. C'est à eux que revient la charge de la preuve, comme on dit. Et cela a été très longtemps le cas. C'est encore ce que pense Rousseau, tout radical dans ses critiques et porté sur l'utopie qu'il puisse être : tant que l'on n'a pas de très bonnes raisons de changer, il vaut mieux s'en tenir à ce que l'on a.

Mais, déjà, avant Rousseau, on avait commencé à penser autrement. Grâce à Bacon, notamment : « *l'empire de l'homme sur les choses est fondé sur les arts et les sciences* », car savoir, c'est prévoir et prévoir, c'est agir. La fin de l'Ancien Régime, en France, va marquer une inversion dans la façon d'accueillir les changements techniques : là où la culture de l'Ancien Régime s'appuyait sur une confrontation des expériences, la culture industrielle qui se met en place sous le premier Empire s'appuie sur les savants pour se projeter dans l'avenir. On peut, et on doit, accueillir la nouveauté. La charge de la preuve est donc passée du côté de ceux qui s'opposent à l'innovation, que l'on nomme aujourd'hui pour cette raison, en ce qui concerne les biotechnologies, « bio-conservateurs »

(*bioconservatives*, en anglais). Ceux qui se rallient au développement des biotechnologies sont qualifiés de « bio-progressistes ».

Mais ces appellations sont-elles justifiées? Les conservateurs sont-ils vraiment ceux que l'on croit? On peut en douter. Depuis Montaigne, notre conception de ce qui est a changé. Nous n'en avons plus une vision statique, mais dynamique: la réalité est pour nous un processus en cours, en réaménagement. C'est cette idée de la vie comme un flux en renouvellement constant qui domine la vision actuelle de l'économie (où les flux comptent plus que les ressources) comme de la technologie, adaptation mouvante aux transformations incessantes du processus de l'existence. Les innovations techniques font partie du mouvement même de la vie sociale, c'est-à-dire, dans cette perspective, des processus économiques dans lesquelles elles s'insèrent.

L'inclusion de la recherche scientifique et technique dans le processus économique, ce que l'on appelle « l'économie de la connaissance », a renforcé cette automaticité de l'acceptation de l'innovation technologique. Et cela va jusqu'à l'intégration de l'évaluation éthique des nouvelles technologies. Dans une économie mondialisée dominée par la rationalité instrumentale, c'est le rapport classique coût/bénéfice qui détermine la mise en marché des objets techniques issus des biotechnologies dans une perspective de « retour sur investissement », logique qu'applique autant les entreprises que les États qui ont investi dans ces domaines. L'incertitude scientifique quant aux risques des objets issus des biotechnologies se doit alors d'être levée le plus rapidement possible pour que le minimum de réglementations internationales puisse permettre de nouveaux investissements « sécuritaires »²⁰. C'est à ces conditions que les biotechnologies pourront passer le cap initial de l'innovation en laboratoire vers une transformation majeure de la production agricole ou industrielle, telle qu'elles ont été annoncées ou promises. L'évaluation des risques est le moment par lequel des finalités techniques et scientifiques sont dirigées vers des objectifs économiques. L'évaluation des risques arrime ainsi la science aux déterminations économiques.

L'évaluation éthique, ainsi réduite à celle des risques, n'implique aucune perspective critique par rapport aux processus en cours. Bien au contraire : c'est une façon d'accepter ce qui est (c'est-à-dire qui change) de l'aider à continuer à être, de s'adapter au processus en cours. Ce que l'on appelle à tort progressisme est le conservatisme d'aujourd'hui, l'acceptation de la supériorité de ce qui est, par cela seul que cela est. C'est d'ailleurs ce que l'on entend souvent dire à propos des biotechnologies : si cela ne se fait pas en France, cela se fera de toute façon ailleurs, aux États Unis, ou en Asie du Sud Est (Chine ou Corée). C'est un mouvement qui va de lui-même, auquel nous ne pouvons que nous adapter.

L'innovation technologique, dont on annonce sans arrêt qu'elle est « révolutionnaire », n'est en fait que ce qui permet à un processus en cours de poursuivre son élan. Avec la culture de l'innovation, l'idée de réforme a changé de sens. Au XIX^e siècle, et pendant la plus longue partie du XX^e siècle, la réforme a signifié un projet visant à améliorer les conditions de vie de la majorité des gens, de façon à ce qu'ils puissent jouir des droits civils, politiques, sociaux qui leur assurent la plus grande autonomie. On opposait réforme et révolution parce que la première cherchait à réaliser par étapes et sans rupture brutale ce qui, pour la deuxième passait par la prise du pouvoir. Mais l'objectif était, en gros, le même. Ce que l'on entend aujourd'hui par réforme c'est l'adaptation forcée à un mouvement qui nous échappe. Comment peut-on encore, à ce sujet, parler de progrès?

Ne vaudrait-il pas mieux refuser la confusion des termes, qui nomme progressisme ce qui est en fait un conservatisme, et réserver le terme de progrès pour caractériser un changement politique et social vers le mieux à partir de valeurs définies indépendamment du processus en cours? Nous avons laissé la notion de progrès être kidnappée par ceux qui le réduisent à n'être qu'un mouvement nécessaire que nous ne pouvons que constater : c'est ainsi que l'on en est venu à assimiler le progrès à l'accumulation matérielle et à la croissance économique (mesurée par le PIB). Il faudrait revenir à une idée de progrès capable de s'appuyer sur ce que l'on peut appeler une « utopie réaliste », au sens de Rousseau (en prenant les « *hommes tels qu'ils sont et les lois telles qu'elles peuvent être* »), c'est-à-dire prenant en considération la capacité que nous avons à réaliser les valeurs sociales et politiques auxquelles nous aspirons. On peut alors définir le progrès social, comme la capacité pour chacun de se

20 Cf. M.-H. Parizeau "L'éthique des nanotechnologies peut-elle se limiter à évaluer des risques ?" Colloque "Recherche et innovation: vers une éthique de la responsabilité" 4-5 nov. 2012

libérer de ces fléaux habituels que sont la pauvreté, la maladie et l'ignorance, en ajoutant que cela ne doit pas se faire au détriment des non humains avec qui nous partageons la planète.

Tel est le paradoxe de ce qui est advenu aujourd'hui de la notion de progrès. Si nous en sommes venus à valoriser l'innovation pour l'innovation, à considérer que toute innovation technologique doit être accueillie, c'est que nous avons naturalisé le social : le progrès c'est le mouvement d'une réalité que nous ne pouvons qu'accepter en nous y adaptant. Mais en même temps cette société naturalisée est une société qui détruit la nature, qui la compte pour rien, qui compte sur sa résilience infinie... Il nous faut donc requalifier notre capacité sociale à agir, tout en nous situant dans une nature qui nous englobe et dont nous devons prendre en considération les limites.

d) Les objets peuvent être isolés

– Introduction (Frédéric Jacquemart)

Dans le langage habituel, on a tendance à comprendre le terme « objet » comme restreint aux objets inanimés. Ici, ce terme réfère de manière beaucoup plus générale à l'objet du discours, dans une relation (créatrice) sujet – objet. Les êtres vivants, dont les humains, sont, dans cette acception, des objets (du discours), sans la moindre péjoration. L'important, dans la description que l'on fait du monde, est bien de se situer explicitement dans le cadre d'une relation, ni neutre ni passive, entre le sujet et l'objet.

La première notion, certes triviale, mais qui doit être citée pour la clarté de l'exposé, est que le rapport à la réalité n'est pas direct. Si je parle d'un stylo, le stylo n'est pas dans ma tête et ce n'est pas cet objet extérieur et indépendant de moi que je mets en relation avec d'autres objets, sensations, connaissances... Ce avec quoi l'être « percevant » travaille, ce sont des concepts, formés à partir d'une interaction avec un ensemble culturel et quelque chose d'ineffable en toute rigueur, qui influe, guide, limite la création personnelle et collective de concepts, que l'on nomme « réalité ». Cette réalité n'est pas un mythe, c'est de l'ineffable d'une autre nature que nos concepts.

Toujours de manière très triviale, mais afin de dissiper quelques malentendus de potaches, l'objet est un concept, une idée, mais toute idée n'est pas un objet recevable : une illusion, qui a même nature, est en relation inadéquate avec le réel. On ne peut, sauf folie, créer ces objets, ou de manière plus générale, ces idées, n'importe comment.

La seconde notion, particulièrement importante en ce qui concerne les OGM est celle du rôle de l'intentionnalité dans la constitution des objets. L'objet, abstrait, donc, est aussi un objet général. L'unique corbeau vert jamais rencontré sera soit une exception dans sa catégorie « corbeau », soit sera, s'il est décidé conventionnellement que la couleur noire caractérise le corbeau, membre d'une autre catégorie. Cette décision (qui n'est pas forcément prise dans le cadre d'une délibération, mais qui peut être l'issue, temporaire, d'un ensemble d'activités) ne peut être arbitraire (sauf à titre d'essai) sans être folle. Elle est conventionnelle, plongée dans les usages humains.

Sans rentrer dans les théories sur la constitution de ces catégories, nous retiendrons que derrière cette catégorisation se tient l'idée d'une équivalence des objets. Il convient ici de parler d'équivalence et non d'identité, puisque nous sommes dans le domaine des sciences de la nature et non des mathématiques ou de la logique formelle²¹. En sciences de la nature, l'identité, qui supposerait qu'on puisse disposer d'une description complète des objets considérés, est exclue. A noter d'ailleurs que l'identité serait ici contradictoire, comme le soulignent les définitions suivantes du dictionnaire Larousse : « *identique* : qui ne fait qu'un avec un autre » et « *autre* : distinct, différent ».

21 À noter au passage que dans ces systèmes formels (mathématiques et logique), l'égalité est une notion de base, fondamentale, mais qu'elle n'est pas définie dans Bourbaki...

Mais une équivalence ne l'est qu'en vue de quelque chose, généralement en vue d'un résultat attendu d'une action. Le résultat sera indistinctement satisfaisant, qu'on utilise l'un ou l'autre des objets en question. D'une manière plus générale, l'équivalence s'entend par rapport à la satisfaction d'un opérateur (qui peut être collectif), dans le cadre d'une intention, ou plutôt d'une intentionnalité, c'est à dire d'un usage intentionnel orientant l'action. La charge culturelle structurante de cette intentionnalité est particulièrement évidente dans le cas de la classification linnéenne des êtres vivants, où la conformité avec la création biblique est un implicite extrêmement prégnant.

L'objet est culturel dans sa nature même. Or, on ne peut guère concevoir une culture comme étant homogène, notamment dans les différentes intentionnalités qui se manifestent en son sein, particulièrement lorsqu'elle est en phase d'évolution rapide ou de rupture. De ce fait, l'objet OGM, non seulement est multiple, mais ne saurait être valablement restreint aux termes de description – création du domaine technique d'où il a émergé, comme l'ont imposé à la société les multinationales semencières. Plongés dans la société et la nature, ces objets acquièrent *ipso facto* des dimensions nouvelles, dont la négation a donné plus de 15 ans de dialogues de sourds.

J'espère qu'on voudra bien me pardonner la forme fort peu académique de ces quelques mots introductifs. Ils me semblaient utiles, du fait de mon expérience de militant associatif habitué aux débats publics, avant de laisser la place à une approche beaucoup plus solide de ceux qui, à ma connaissance, ont été les premiers, dans le monde académique, à comprendre l'importance considérable de l'absence de caractérisation des objets d'un discours dès lors fatalement polémique.

Quel sens y a-t-il à traiter d'« objets » les OGM ?

Quels objets ? Produits finis ? Objets techniques ? Objets scientifiques ?

Anne-Françoise Schmid & Léo Coutellec.

La conception et la représentation épistémologique des objets, tels les OGM, souffrent d'un manque de rigueur et de perspective. *L'a priori* de l'isolement objectif et de la réduction méthodologique de l'objet dans un cadre évaluatif ne supporte plus l'épreuve d'un débat réellement démocratique à propos des sciences et des techniques contemporaines.

Lorsque l'on convoque l'OGM dans les débats scientifiques et publics, tel OGM maïs, tel OGM colza, etc., on le présente comme un produit fini, sur lequel on pourrait avoir un jugement. Est-il « bon » ? Est-il « mauvais » ? Pour l'environnement ? Pour la santé ? Pour les générations futures ? Dans l'objectif de lutter contre la faim ? Dans celui de résister à tel ou tel virus ? Que penser de la méthode qui consiste à isoler un objet pour en tirer un jugement de valeur ? Pour lui faire dire qu'il est un « progrès » ?

En ce qui concerne les OGM végétaux, les débats répètent des arguments très semblables, alors que les situations scientifiques et sociales ont changé, c'est un signe d'échec. Cela ne signifie pas que les postures n'aient plus de sens, mais que la question de l'éthique générale doit être posée à un autre niveau que celui du produit fini. Qu'est-ce qu'un « objet » si on ne le considère pas du point de vue du produit fini, comme élément isolable dans un argument économique plus vaste ?

Il ne faut d'abord pas prendre de décision rapide. Souvent, nous abordons un tel objet en le catégorisant comme un objet technique, produit de la biologie moléculaire. Il est sans doute cela, mais une telle catégorisation ne suffit pas, on arrive aux mêmes impasses. Est-ce un objet scientifique – en supposant que la science crée des objets ? Est-ce un objet social, qui touche notre intime – pas seulement la nature et la culture ? Un tel « objet » est à la fois technique, scientifique, social, il touche l'intime, et en tenant compte de ces hétérogénéités, il n'est pas manipulable.

Ces questions même manifestent que l'objet est vu communément comme quelque chose de manipulable à partir d'un point de vue. Les aspects interdisciplinaires et d'hétérogénéité des objets sont mis à la marge. Les implicites qui font que l'on classe l'objet comme le produit de la technique ou comme étant l'impossible de la science amènent à des impasses. Car c'est bien de cela qu'il s'agit lorsque que des agences gouvernementales

d'évaluation s'interrogent pour savoir si un OGM tombe dans la classe des additifs alimentaires, des médicaments ou des sciences vétérinaires, comme cela est arrivé en 2010 pour le saumon OGM aux Etats-Unis. C'est aussi le cas lorsque l'évaluation se réduit à une évaluation du risque, réduction par la quantification qui contracte l'analyse sur quelques déterminants visibles et efface des considérations impossibles à traiter dans ce cadre.

Face à ces *a priori* méthodologiques dont les conséquences sont importantes sur notre capacité à traiter la question des OGM, il nous faut une autre façon d'aborder les objets. En premier lieu, nous devons partir d'une nouvelle hypothèse : ce qui est produit des sciences et des techniques contemporaines n'est pas catégorisable avec les classifications existantes. Ceci a été testé au cours d'un projet interdisciplinaire de l'ANR (Agence Nationale de la Recherche) sur la question des poissons génétiquement modifiés²². Il s'agit de partir d'un « point zéro » et non d'un objet donné. Car nous avons constaté qu'il était peu productif de caractériser le PoGM comme un poisson + une manipulation génétique. C'est une façon de combiner le connu au connu pour aboutir à un inconnu que l'on ne peut caractériser.

Improductivité d'une convocation linéaire et hiérarchique des disciplines

Une telle conception conduit habituellement à la gestion de la discussion des OGM comme suit. On part de la discipline-mère, celle qui a pu donner lieu à l'OGM, la biologie moléculaire. Mais le biologiste se heurte à des formes d'obscurités (comment connaître le site d'insertion ?, quels sont les facteurs de l'intégration, de l'expression et de la stabilité du transgène dans l'hôte ?, ...) sur lesquelles il n'a pas de réponse. Il faut donc faire appel à une autre discipline, par exemple la chimie, qui elle aussi se heurtera à des obstacles (comment identifier un PoGM ? Comment travailler de façon compatible avec les seuils européens ?, ...). Ces nouveaux obstacles amèneront d'autres disciplines, par exemple, l'économie au travers de l'étude socio-économique des filières (quelles sont les espèces de poissons qui se prêtent le mieux à de telles manipulations ?, ...). Mais cela pose aussi la question de l'étiquetage et du droit (les concepts du droit permettent-ils d'adapter les directives européennes ? Ces mêmes directives sont-elles adaptées à l'évolution technique et scientifique ? Faut-il produire du droit anticipatif ?, ...). La représentation des citoyens et des consommateurs pourra alors orienter ce travail (analyse de focus groupes, etc.). L'éthique apparaît enfin, en peau de chagrin, comme la discipline qui devrait prendre en charge l'acceptabilité de ce nouveau produit. Voilà un bel exemple de manipulation de discipline, appelée à faire en bout de course quelque chose qui n'est pas dans ses attributions. Et il s'agit d'une suite qui se répète : une discipline, un obstacle, l'appel à une autre discipline, etc... Cela donne lieu à un produit fini étrié sur lequel les batailles de valeurs peuvent alors s'exercer, quelles que soient celles-ci.

Une autre approche des objets et du rôle des disciplines

Faisons d'autres hypothèses épistémologiques pour l'évaluation des OGM, en sortant de la centralité du concept de risque et de la hiérarchie des convocations disciplinaires. Supposons plutôt que l'OGM soit un X dont les propriétés sont réparties de façon inattendues parmi des disciplines diverses. La démarche de compréhension de l'OGM sera alors très différente et devra tenir compte de la construction d'un espace interdisciplinaire. Le travail interdisciplinaire change alors, et la question de l'objet se pose différemment, parce qu'il n'est plus un « produit fini » sur lequel on projette des jugements de valeur.

Il s'agit de mettre des disciplines autour de cet objet X et d'engager un dispositif d'itération. Une discipline développe ce qu'elle sait et construit ce qu'elle ne sait pas autour de cet objet, et les autres reformulent à partir des résultats leur propre savoir et non-savoir. On recommence le processus à partir de chaque discipline. Ainsi, il ne s'agit plus de la convergence de perspectives disciplinaires dont on pense qu'elles vont « recouvrir » un objet partiellement connu, mais de l'instauration d'un espace interdisciplinaire, où chaque partenaire apporte un ensemble de connaissances qui ne sont plus additives et qui ne relève plus d'une logique positiviste²³. Dans cet

22 COUTELLEC, Léo & MAMBRINI, Muriel (eds.) (2014). Le poisson génétiquement modifié au pluriel. Approches interdisciplinaires entre sciences, éthiques et sociétés, Éditions QUAE, Collection « Matière à débattre et à décider » (à paraître en 2014)

23 Nous avons développé cet aspect, notamment dans : SCHMID Anne-Françoise, MAMBRINI-DOUDET Muriel, HATCHUEL Armand (2011) "Une nouvelle logique de l'interdisciplinarité", *Nouvelles Perspectives en Sciences Sociales*, vol.7, n° 1, pp.105-136

espace, on ne peut que pratiquer une démocratie des disciplines, aucune n'a d'autorité sur l'autre. Ce n'est pas une banalité, il n'y a plus de discipline qui soit directement productrice de l'objet. Cela change par ailleurs l'équilibre des disciplines, il n'y a par exemple plus de mathématiques pures qui s'appliquent indifféremment aux sciences expérimentales²⁴, de même de la philosophie, ou de l'épistémologie. Les modes d'échanges changent aussi, ce ne sont plus des performances ajoutées les unes aux autres, mais la formation d'une forme d'« intimité collective », qui a été développée tant en ethnopsychiatrie dans un dispositif de soin que par exemple dans une thèse de l'Ecole des Mines de Paris²⁵.

Une autre représentation de la science pour des évaluations réellement démocratiques

Concernant les sciences et ses nouveaux objets, une position positiviste n'est donc plus possible. Tout comme les messianismes du progrès qui l'accompagnent classiquement n'ont plus de sens. Tout écrasement disciplinaire induit un dépassement idéologique dans l'usage que l'on peut faire des objets. La façon de concevoir les relations entre disciplines et de construire un espace interdisciplinaire est un moyen éthique de ne pas évaluer l'objet en fonction de caractéristiques de produit fini. Il faut remonter en amont, en considérant ce qui s'appelle un OGM non seulement comme un objet technique, mais dans le même temps un objet scientifique, et retenir ses interprétations convenues et partielles, fruits de la projection des postures et intentions des chercheurs.

Ces objets n'ont que des unités partielles, qui sont justement organisées par ces projections, qui rassemblent de façon particulière. Que ce soient les nouveaux objets scientifiques interdisciplinaires, ou de nombreux sujets d'études, par exemple les épidémies sans agent infectieux, l'obésité, la dépression, ils sont des objets étudiés dans de nombreux champs disciplinaires, dont les résultats ne peuvent plus être considérés comme causes. Nous devons élaborer une nouvelle logique, où la non-synthèse ne soit plus une limite à la marge, mais au centre du travail interdisciplinaire, comme on l'a fait auparavant de l'incertitude.

Des objets non synthétisables ou intégratifs : une nouvelle logique de composition des savoirs

Nous avons donné un nom à ces objets non-synthétisables, non ré-appropriables à partir de la convergence des perspectives des disciplines, les objets intégratifs. La rigueur de ces objets ne tient plus seulement aux problématiques vrai/faux, mais dépend de l'hyper-compatibilité ou compatibilité non standard des fragments de sciences. Hyper-compatibilité, car les modèles mis en jeu sont si nombreux que les hypothèses sur lesquelles ils reposent peuvent être contradictoires, comme l'a très bien montré Jean Goguel²⁶ ou encore Jean-Marie Legay²⁷.

24 Le rapport de l'Académie des sciences sur les mathématiques dans les sciences expérimentales commençait déjà à exprimer cette idée en 2005 : Académie des Sciences. (2005) *Les Mathématiques dans le monde scientifique contemporain*. Paris : TEC & DOC.

25 Paris Chrysos, (2013), « Quand les utilisateurs créent l'industrie : le cas des applications », thèse soutenue le 17 décembre 2013 sous la direction de Philippe Lefèvre et Armand Hatchuel, MinesParisTech, laboratoire CGS. Ou en ethnopsychiatrie : Hounkpatin, L., Perez, A., Wexler-Czitrom, H., Courbin, L., 2011. « Vers un nouveau paradigme : la clinique de la multiplicité et la fabrication de « l'intime collectif » », in : Guerraoui Z., Pirlot G., 2011, Comprendre et traiter les situations interculturelles, approches psychodynamiques et psychanalytiques, 67, 55–107. Ou encore, SCHMID Anne-Françoise (2012), "Interdisciplinarité et philosophie comme expérience en plein champ", in : Natures, Sciences, Sociétés 20, n°1, pp. 75-81. Et dans ce cadre, les disciplines elles-mêmes ne sont plus au centre – il y a une « dérive des disciplines » autour des lieux d'interdisciplinarité, il s'agit plutôt d'articuler des fragments de disciplines dans un espace générique où ils sont organisés par une discipline +1, que l'on peut choisir librement. Dans le cas du projet de l'ANR, nous avons choisi l'épistémologie et l'éthique, tant il paraissait urgent d'explicitier de nouvelles méthodes permettent de rendre compte des relations interdisciplinaires dans les contextes scientifiques contemporains. En ce qui concerne l'interprétation des données, l'esthétique a été proposée dans le cadre d'une conférence en 2013 à l'Ecole des Mines de Paris (SIG 2013), et dans une collaboration avec l'Académie des Sciences de Moscou (SCHMID Anne-Françoise et Mambrini-Doudet Muriel, « L'identité scientifique en régime interdisciplinaire (Losev et Laruelle)).

26 Article « modèle » de l'Encyclopedia Universalis.

27 Jean-Marie Legay, *L'Expérience et le modèle. Un discours sur la méthode*, Paris, Quae, « sciences en questions », 1997.

C'est possible dans un espace générique, dont l'un des premiers exemples historiques nous est donné par Henri Poincaré, grâce à son travail remarquable sur les modèles et leur multiplicité. Cette compatibilité suppose tout d'abord une décomposition des propositions scientifiques, sorties alors de leur contexte disciplinaire, afin d'être mises en rapport avec d'autres disciplines²⁸. C'est cette procédure que nous appelons le « critère de Poincaré ».

L'enjeu de l'évaluation des OGM n'est évidemment pas seulement épistémologique. Mais pour sortir de pensées évaluatives qui restreignent considérablement le spectre scientifique et le débat public, et qui mènent à des impasses, tant scientifiques que sociales, il nous faut reconsidérer la question des objets, leur traitement, et la façon dont on peut composer les savoirs et non savoirs à leur égard.

Conclusion

Patrick Gaudray et Frédéric Jacquemart

La société occidentale a développé ses capacités à agir sur le monde d'une manière considérable, sans réelle commune mesure avec la situation passée. Cette croissance techno-scientifique a largement été orientée vers la recherche du confort (y compris la santé) et du plaisir personnels, ainsi que vers la domination des autres entités géo-politiques (nations, unions d'états). Cette domination, qui peut être militaire mais aussi économique et morale, entraîne une nécessité interne d'un « progrès » constamment accéléré, dans une situation de compétition généralisée. Si l'objectif majeur est la domination, ralentir l'innovation signifie l'échec.

La compatibilité de l'espèce humaine avec la biogée ne fait pas intimement partie des projets ni de leurs moteurs, non plus que de la validation des propositions et des actes. Elle n'est, à la rigueur, abordée que comme un problème à traiter dans le cadre général agonistique de la compétition entre les sociétés et de la domination de la nature²⁹.

L'évolution d'un système complexe se fait par ouverture de nouvelles possibilités³⁰ (de connexions et de transformations), mais aussi de restrictions³¹, avec amputations ou inhibitions de possibilités antérieurement présentes. Simultanément, aussi bien cette permissivité que ces restrictions vont entraîner une irréversibilité totale ou partielle de l'évolution suivie. C'est le cas pour les sociétés, qui se co-construisent avec leurs techniques. Prenons l'automobile : la société s'est structurée avec elle, au point que personne ne pourrait actuellement prendre la décision de l'arrêter, même en prenant en compte les problèmes gravissimes qu'elle pose.

28 Voir par exemple l'invention de la mécanique algébrique, ou sa théorie de la relativité restreinte, qui met en compatibilité la théorie des groupes, l'expérience de Michelson-Moreley, la mécanique classique, les déformations de Lorentz et de Langevin, etc.

29 Ce qui est particulièrement typique dans la géo-ingénierie ou la volonté d'adapter les plantes cultivées, par les biotechnologies, au changement climatique induit par l'expansion techno-scientifique.

30 Une manière nouvelle d'aborder cette permissivité (« *enablement* ») est fournie par Giuseppe Longo et collaborateurs (2012) « *No entailing laws, but enablement in the evolution of the biosphere* » *Proceedings of the 14th Annual Conference Companion on Genetic and Evolutionary Computation* 1379 -1392 (2012). doi:10.1145/2330784.2330946

31 Voir à ce sujet le compte-rendu final du programme EvaGlo de l'appel à projet RiskOGM, à paraître fin 2014.

Il en est de même pour l'informatique, de développement pourtant beaucoup plus récent³². L'arrêt des ordinateurs entraînerait immédiatement une désorganisation profonde des sociétés technicisées.

Cette co-évolution des sociétés et des techniques fait partie de la problématique de l'évaluation des technologies nouvelles. Engageant la société dans une voie irréversible ou très difficilement, voire douloureusement, réversible, il devrait s'agir, préalablement, de savoir si cette voie peut être maintenue (si on dispose de suffisamment de ressources pour assurer son fonctionnement par exemple) et si elle est souhaitable (ce qui renvoie à de vrais débats citoyens, traitant du contexte et non pas seulement des produits techniques eux-mêmes).

Pour ce qui est des OGM, qui rendent quelque chose d'aussi essentiel que l'alimentation dépendante d'un niveau technologique basé sur une consommation croissante de ressources épuisables à court terme³³ et qui entraînent d'importantes restructurations de la société, l'évaluation au cas par cas est une fois de plus manifestement inadéquate.

Cette « *vulnérabilité des sociétés confortables*³⁴ » devrait être au cœur même de l'évaluation politique des technologies nouvelles et de la réflexion éthique puisqu'il s'agit éminemment d'intérêt général, impliquant des choix moraux sur la nature des sociétés futures.

L'évaluation des OGM et, d'une manière plus générale, des nouvelles technologies, ne peut manifestement plus se faire dans le seul cadre réduit du domaine techno-scientifique avec les *a priori* issus d'une éthique générale qui ne correspond plus aux nécessités et enjeux actuels. Cette réduction introduit aussi un biais dans la réflexion éthique en l'orientant résolument vers le champ des éthiques appliquées. La multiplication des comités d'éthique et de déontologie à laquelle nous assistons depuis plus de trente ans est, de ce point de vue, symptomatique. Qui plus est, on assiste aujourd'hui à une confusion fondamentale faisant de la technologie et de l'économie des valeurs alors qu'elles ne sont que des outils.

Le présent travail doit être considéré que comme une introduction à la sensibilisation des décideurs politiques et de l'administration, sur les plans national et européen, au besoin impératif de poursuivre cette réflexion en l'élargissant et à une mise en démocratie réelle³⁵ de ces questions. En effet, nul ne peut décider pour les sociétés de l'évolution de notions aussi fondamentales que l'être-au-monde, l'intérêt général (ou le bien commun conçu dans ce sens) et les valeurs morales qui leur sont co-extensives.

Nous espérons que ce rapport, qui trouvera aussi quelques prolongements dans le programme EvaGlo³⁶ incitera à la mise en route très rapide d'un groupe de réflexion dédié.

32 Il est à noter que dans tous ces cas, la décision de faire ou de ne pas faire n'a jamais été prise. Les grandes évolutions ne se font pas dans le cadre de décisions avec ou sans évaluation, elles sont permises et même suscitées par le contexte général, par l'éthique générale. D'où l'importance capitale de la réflexion sur les contextes à un moment crucial pour l'humanité.

33 Voir, par exemple : Philippe Bihouix (2014) « *L'âge des Low Tech. Vers une civilisation techniquement soutenable* » coll. Anthropocène – Le Seuil.

34 Titre d'une série de conférences données par le GIET en 2012-2013.

35 « *la démocratie participative se passe dans un cadre institutionnel et dans un cadre conceptuel 'déjà-là'. La démocratie réelle telle que nous l'entendons, tout au contraire, vise à l'émergence de cadres auto-organisés et c'est justement le cadre conceptuel qui est en question* ». Rapport final du programme « *Métamorphose Culturelle par la Démocratie Réelle* » présenté à la Région Rhône-Alpes et à la Fondation Charles-Léopold Mayer pour le Progrès de l'Homme par un consortium associatif. <http://www.metamorphose-culturelle.org>.

36 Évaluation globale. Programme développé dans le cadre de l'appel à projet RiskOGM.

Annexe 1 : Brève présentation des auteurs

Nicolas Bouleau est mathématicien dans le domaine de l'analyse stochastique. Professeur émérite à L'Ecole des Ponts ParisTech où il créa et dirigea une dizaine d'année le centre de mathématiques, il enseigne l'épistémologie et la philosophie des sciences à l'université Paris-Est et à Sciences-Po. Actuellement rattaché au Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement il participe aux réflexions sur la lutte contre le changement climatique et étudie en ce moment les conséquences de l'agitation des marchés financiers sur l'immobilité devant la transition énergétique. Il est membre du conseil scientifique de la Fondation Nicolas Hulot et titulaire du prix Montyon de l'Académie des sciences. Il tient un blog sur ses recherches en cours.

Jacques Blondel est Directeur de recherche émérite au CNRS. Toute sa carrière s'est déroulée dans cet organisme et notamment au Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive de Montpellier où il a dirigé une équipe de recherche en biologie évolutive. Ses recherches portèrent sur les réponses écologiques et évolutives de populations d'oiseaux aux contraintes de la méditerranéité ainsi qu'à différentes composantes du changement global. Il s'est aussi investi dans des recherches sur la biodiversité et fut président de la Commission scientifique de l'Institut Français de la Biodiversité. Auteur de plus de 350 publications et de sept livres, dont L'Archipel de la Vie ; essai sur la diversité biologique et une éthique de sa pratique.

Léo Coutellec est chercheur en épistémologie et éthique des sciences et techniques contemporaines, Espace éthique Ile de France, Université Paris Sud, EA1610 «Études sur les sciences et techniques».

Patrick Gaudray est Directeur de recherche au CNRS, à Tours. Il est l'auteur ou le co-auteur d'une centaine de publications scientifiques, en particulier dans le domaine de la génétique des cancers et la génomique. Ancien Directeur conseil scientifique des Conférences Jacques Monod du CNRS, il est aujourd'hui conseiller scientifique de l'Institut des Hautes Etudes pour la Science et la Technologie (IHEST), membre du Comité Éthique et Cancer auprès de la Ligue Nationale Française Contre le Cancer, et membre du Comité Consultatif National d'Éthique pour les sciences de la vie et de la santé (CCNE). Il représente le CCNE au Comité éthique, économique et social du Haut Conseil des Biotechnologies (HCB). Son activité actuelle est principalement dévolue à la bioéthique et aux relations entre science, technologie, société et éthique.

Frédéric Jacquemart représentait France Nature Environnement au HCB au moment de ces travaux, il était vice-président du Comité Économique, Éthique et Social. Il est aussi président du GIET (groupe international d'études transdisciplinaires) et impliqué dans de nombreuses associations de protection de la nature et culturelles. De formation, il est médecin spécialiste de biologie médicale, docteur es-sciences es-immunologie et licencié en philosophie, ancien chercheur en biologie.

Catherine Larrère, philosophe, professeur émérite à l'Université de Paris I-Panthéon-Sorbonne, elle s'intéresse aux questions éthiques et politiques liées à la crise environnementale, au croisement de la philosophie de la nature et de la philosophie de la technique. Elle a contribué à introduire en France les grands thèmes de l'éthique environnementale d'expression anglaise. Elle a publié, notamment, *Les philosophies de l'environnement* (Paris, PUF-collection *Philosophies* – 1997), *Du bon usage de la nature, Pour une philosophie de l'environnement*, (en collaboration avec Raphael Larrère), Paris, Aubier, 1997 (réed. Paris, Champs Flammarion, 2009).

Anne-Françoise Schmid est MCF HDR à l'INSA de Lyon, Laboratoire EVS, UMR 5600, chercheur invité à la chaire TMCI, laboratoire CGS, MinesParisTech, chercheur associé au Laboratoire d'Histoire des Sciences et de Philosophie - Archives Henri Poincaré, UMR 7117, Université de Lorraine. Philosophe et épistémologue, elle est l'éditrice de Bertrand Russell et de Louis Couturat, spécialiste de Henri Poincaré, fondatrice de l'épistémologie générique.

Coordinateur du groupe de réflexion : Martin Rémondet. Chargé de mission au Haut Conseil des biotechnologies, Martin Rémondet est diplômé de l'Institut d'Etudes Politiques de Bordeaux et Docteur en sociologie (Ecole des Mines). Il a ensuite travaillé au sein de l'Unité « Sciences en Société » (SenS) de l'INRA. Ses recherches ont principalement porté sur le gouvernement des sciences contemporaines du vivant. Il est aujourd'hui chargé de mission au HCB, en charge notamment de son Comité éthique, économique et social.